



TUGAS AKHIR - MN141581

**STUDI DESAIN *MIDGET SUBMARINE* UNTUK APLIKASI
INTELIJEN DAN MONITORING PERAIRAN INDONESIA**

BAGUS GELIS PRATAMA PUTRA
NRP. 41111 100 026

Dosen Pembimbing
Ir. Wasis Dwi Aryawan, M.Sc., Ph.D.

JURUSAN TEKNIK PERKAPALAN
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2015

FINAL PROJECT - MN141581

**DESIGN STUDIES OF MIDGET SUBMARINE FOR
INTELLIGENCE APPLICATION AND MONITORING
INDONESIAN WATERS**

BAGUS GELIS PRATAMA PUTRA
NRP. 4111 100 026

Supervisor
Ir. Wasis Dwi Aryawan, M.Sc., Ph.D.

DEPARTMENT OF NAVAL ARCHITECTURE & SHIPBUILDING ENGINEERING
Faculty of Marine Technology
Sepuluh Nopember Institute of Technology
Surabaya
2015

KATA PENGANTAR

Puji syukur kepada Ida Sang Hyang Widhi Wasa karena atas asung kerta waranugraha-Nya Tugas Akhir ini dapat selesai dengan baik. Pada kesempatan ini Penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada pihak-pihak yang membantu penyelesaian Tugas Akhir ini, yaitu:

1. Bapak Ir. Wasis Dwi Aryawan, M.Sc., Ph.D. selaku Dosen Pembimbing dan Ketua Jurusan Teknik Perkapalan yang telah membimbing penulis serta memberikan banyak ilmu baik selama perkuliahan dan pengerjaan Tugas Akhir;
2. Bapak Ir. Asjhar Imron, M.Sc, M.SE, PED selaku Dosen Wali penulis di Jurusan Teknik Perkapalan;
3. Bapak Prof. Ir. Djauhar Manfaat, M.Sc., Ph.D. , Ibu Ir. Hesty Anita Kurniawati, M.Sc. , dan Bapak Wing Hendroprasetyo Akbar Putra, S.T., M.Eng selaku Dosen Penguji yang telah memberikan kritik dan sarannya untuk perbaikan Laporan Tugas Akhir ini;
4. Bapak Ir. Wisnu Wardhana, M.Sc., Ph.D. dan Bapak Solikhan Arief, S.T., M.T. yang membantu memberikan referensi mengenai kapal selam;
5. Sdr. Ibaddurahman dari Teknik Perkapalan UI, yang telah berbagi ilmu dan referensi tentang kapal selam kepada penulis;
6. Rekan-rekan Laboratorium Perancangan Kapal, Fyan, Suryana, Nabel, Lukman, Rino, Nando, Mbak Zata, Mbak Gita, Mas Baidowi, Mas Danu, Gudyer, serta rekan-rekan seperjuangan Ega, Ardan, Nandika, Ian, Bogo, Dhimas N, Emma, dan Vinnes;
7. Sahabat dari SMA yang masih menemani sampai saat ini, Ilham dan Firdiansyah;
8. Kawan-kawan Fix.Buntu, Yani Nurita, Ghea, Dhani, Denny, Sari, Renna, Dinny, Ryan, dan lainnya, yang telah berbagi keceriaan;
9. Kawan-kawan Club Hydromodelling dan Barunastra, khususnya team Acalendra, Alfi, Arya, Rizal, Cakra, Stevanus dan Rengga, yang pernah berjuang bersama;
10. Rekan-rekan CEMTERLINE P51;
11. Rekan-rekan BEM FTK 2013/2014;
12. Dan semua pihak yang telah membantu dalam penyelesaian Tugas Akhir penulis secara langsung maupun tidak langsung;

Penulis sadar bahwa Tugas Akhir ini masih jauh dari kesempurnaan sehingga kritik dan saran yang bersifat membangun sangat diharapkan. Akhir kata semoga tulisan ini dapat bermanfaat bagi banyak pihak.

Surabaya, Januari 2016

Bagus Gelis Pratama Putra

LEMBAR PENGESAHAN

STUDI DESAIN *MIDGET SUBMARINE* UNTUK APLIKASI INTELIJEN DAN MONITORING PERAIRAN INDONESIA

TUGAS AKHIR

Diajukan Guna Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada

Bidang Keahlian Rekayasa Perkapalan – Perancangan Kapal
Program S1 Jurusan Teknik Perkapalan
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

BAGUS GELIS PRATAMA PUTRA
NRP. 4111 100 026

Disetujui oleh Dosen Pembimbing Tugas Akhir:

Dosen Pembimbing:


Ir. Wasis Dwi Arsyawan, M.Sc., Ph.D.
NIP. 196510021989011 001

SURABAYA, 26 JANUARI 2016

LEMBAR REVISI

STUDI DESAIN *MIDGET SUBMARINE* UNTUK APLIKASI INTELIJEN DAN MONITORING PERAIRAN INDONESIA

TUGAS AKHIR

Telah direvisi sesuai dengan hasil Ujian Tugas Akhir
Tanggal 14 Januari 2016

Bidang Keahlian Rekayasa Perkapalan – Perancangan Kapal
Program S1 Jurusan Teknik Perkapalan
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

BAGUS GELIS PRATAMA PUTRA
NRP. 4111 100 026

Disetujui oleh Tim Penguji Ujian Tugas Akhir:

1. Prof. Ir. Djauhar Manfaat, M.Sc., Ph.D.
2. Ir. Hesty Anita Kurniawati, M.Sc.
3. Wing Hendroprasetyo Akbar Putra, S.T., M.Eng.

Disetujui oleh Dosen Pembimbing Tugas Akhir:

1. Ir. Wasis Dwi Aryawan, M.Sc., Ph.D.



SURABAYA, 20 JANUARI 2016

STUDI DESAIN *MIDGET SUBMARINE* UNTUK APLIKASI INTELIJEN DAN MONITORING PERAIRAN INDONESIA

Nama Mahasiswa : Bagus Gelis Pratama Putra
NRP : 4111 100 026
Jurusan / Fakultas : Teknik Perkapalan / Teknologi Kelautan
Dosen Pembimbing : Ir. Wasis Dwi Aryawan, M.Sc., Ph.D.

ABSTRAK

Wilayah Indonesia terbentang sepanjang 3.977 mil di antara Samudra Hindia dan Samudra Pasifik. Luas daratan Indonesia adalah 1.922.570 km² dan luas perairannya 3.257.483 km². Dengan luas perairan tersebut maka daerah perairan yang harus dijaga oleh pemerintah Indonesia tidaklah sedikit. Kapal selam merupakan salah satu ujung tombak pemerintah dalam hal ini TNI-AL untuk menjaga kedaulatan wilayah perairan NKRI. Dengan jumlah 2 buah kapalselam yang dimiliki, angka tersebut termasuk sangat sedikit, mengingat betapa luasnya perairan di NKRI jika dibandingkan dengan negara tetangga. Kapal selam Mini (*midget submarine*) dirasa dapat memenuhi kebutuhan Intelijensi dan monitoring perairan Indonesia. *Midget Submarine* atau kapal selam cebol / mini adalah jenis kapal selam dengan bobot dibawah 150 ton, biasanya dioperasikan oleh satu atau dua awak tapi terkadang sampai 6 atau 9, dengan sedikit atau tanpa akomodasi hidup. Di dalam Tugas Akhir ini akan dibahas tentang mencari ukuran utama dan pembuatan desain kapal selam secara umum. Ukuran utama kapal ditentukan dari kebutuhan volume *pressure hull* berdasarkan *operational requirements*. Proses desain *midget submarine* berupa perhitungan teknis awal, Rencana Garis dan Rencana Umum dapat dilakukan setelah mendapatkan ukuran utama yang dibutuhkan. Setelah desain awal didapatkan maka dilakukan pemeriksaan teknis. Pemeriksaan teknis berupa pemeriksaan hambatan, berat dan titik berat, serta analisa stabilitas. Dalam tugas akhir ini dilakukan pula simulasi hambatan menggunakan CFD . Pada akhirnya didapatkan hasil desain *midget submarine* yang mampu membawa 8 orang *crew*, dengan ukuran utama L : 21 m ; D : 3 m ; H : 4.641 m ; V *submerged* : 9 knot ; *Submerged Displacement* : 120.645 ton ; *Surfaced Displacement* : 108.58 ton.

Kata kunci : *Midget Submarine*, Kapal Selam Mini, *pressure hull*, CFD, *submerged displacement*, *surfaced displacement*

DESIGN STUDIES OF MIDGET SUBMARINE FOR INTELLIGENCE APPLICATION AND MONITORING INDONESIAN WATERS

Author : Bagus Gelis Pratama Putra
ID No. : 4111 100 026
Dept. / Faculty : Naval Architecture & Shipbuilding Engineering / Marine Technology
Supervisors : Ir. Wasis Dwi Aryawan, M.Sc., Ph.D.

ABSTRACT

Indonesian territory extends along 3.977 miles between the Indian Ocean and Pacific Ocean. Indonesia's land area is 1.922.570 km² and the water area is 3.257.483 km². Those not a little water area to be maintained by Indonesian government. The submarine is one of the mainstay of the government in this case Indonesian Navy to maintain Republic Indonesia sovereignty of their territorial waters. With the amount of 2 pieces of submarine owned, it can be said by a very small numbers. Considering how widely the waters of Republic Indonesia when compared with neighboring countries. Midget submarine able to meet the needs of intelligence and monitoring the waters of Indonesia. Midget Submarine is a type of submarine with a weight below 150 tons, typically operated by one or two crew members but sometimes up to 6 or 9, with little or no on-board living accommodation. In this final project will be discussed about the search of main dimension and the design of submarine in general. The main dimension of the submarine is determined by needs of pressure hull volume based on operational requirements. The submarine design process is in the form of technical calculations, lines plan and general arrangement. Those can be done after getting the needed of main dimensions. After the initial design obtained then be done a technical checks. Technical checks be an examination of the resistance, weight and center of gravity, and also the stability analysis. In this final project the submarine resistance is also simulated by CFD. At the end of the process, is obtained a midget submarine with capability to carrying 8 crew, and the main dimensions is L : 21 m ; D : 3 m ; H : 4.641 m ; V submerged : 9 knot ; Submerged Displacement : 120.645 ton ; Surfaced Displacement Surfaced : 108.58 ton.

Keywords : Midget Submarine, pressure hull, CFD, submerged displacement, surfaced displacement

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	iii
LEMBAR REVISI.....	iv
HALAMAN PERUNTUKAN.....	v
KATA PENGANTAR.....	vi
ABSTRAK	vii
ABSTRACT	viii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR GAMBAR.....	xiii
DAFTAR TABEL	xv
Bab I PENDAHULUAN	1
I.1. Gambaran Umum.....	1
I.2. Latar Belakang Masalah	2
I.3. Perumusan Masalah	3
I.4. Batasan Masalah	3
I.5. Tujuan	3
I.6. Manfaat	4
I.7. Hipotesis	4
I.8. Format Laporan.....	4
Bab II STUDI LITERATUR	7
II.1. Gambaran Umum.....	7
II.2. Kapal selam.....	8
II.3. Midget Submarine.....	10
II.4. Teori Desain Konseptual Awal.....	11
II.4.1. Menentukan ukuran utama kapal.....	11
II.4.2. Prinsip Hidrostatik Kapal Selam	12
II.4.3. Perhitungan hambatan kapal selam	14
II.4.4. Memperkirakan daya motor induk	14
II.4.5. Stabilitas Kapal selam	15

II.4.6.	Perhitungan berat dan titik berat Kapal Selam.....	20
II.4.7.	Perhitungan kapasitas <i>Pressure Hull</i>	20
II.4.8.	Perhitungan Volume Main Ballast Tank.....	21
II.4.9.	Desain Rencana Garis	21
II.4.10.	Desain Rencana Umum	22
II.5.	<i>Computational Fluid Dynamic (CFD)</i>	23
II.5.1.	Governing Equation	23
II.5.2.	Metode Penyelesaian.....	23
II.5.3.	Software	24
Bab III	METODOLOGI.....	29
III.1.	Pendahuluan.....	29
III.2	Bagan Alir	29
III.3	Langkah Pengerjaan	31
Bab IV	Perancangan <i>midget submarine</i>	33
IV.1.	Pendahuluan.....	33
IV.2.	Operational Requirements	34
IV.2.1.	Fungsi Dan Tugas.....	34
IV.2.2.	Kecepatan	34
IV.2.3.	Kedalaman.....	35
IV.2.4.	Awak Kapal.....	35
IV.2.5.	Kemampuan Operasional	35
IV.3.	Perhitungan Kebutuhan Volume Kapal Selam	36
IV.3.1.	Kebutuhan Volume <i>Pressure Hull</i>	36
IV.3.2.	Volume <i>Main Ballast Tank</i>	40
IV.3.3.	Perhitungan <i>Form Volume Kapal Selam</i>	41
IV.3.4.	Perhitungan Displasemen Normal.....	41
IV.4.	Penentuan Ukuran Utama Awal	42
IV.5.	Machinery	44
IV.5.1.	<i>Effective Power</i>	44
IV.5.2.	<i>Motor Powering</i>	45
IV.5.3.	Pemilihan Motor.....	46
IV.5.4.	Pemilihan Generator Set.....	46
IV.6.	<i>Battery</i>	48

IV.6.1.	Estimasi Kebutuhan Daya Listrik Kapal	48
IV.6.2.	Estimasi Jumlah Baterai	49
IV.7.	Perlengkapan Kapal Selam.....	50
IV.7.1.	<i>Cylindrical Hydrophone Array</i>	50
IV.7.2.	<i>Optronic System</i>	51
IV.7.3.	Combat Management System	52
IV.7.4.	<i>Equipment</i>	53
IV.8.	Desain Rencana Garis dan Rencana Umum.....	53
IV.8.1.	Pembuatan <i>Lines Plan</i>	55
IV.8.2.	Desain General Arrangement.....	58
IV.9.	Pemeriksaan Hambatan	60
IV.9.1.	Hambatan Kondisi <i>Submerged</i>	60
IV.9.2.	Hambatan Kondisi <i>Surfaced</i>	62
IV.9.3.	Hambatan Menggunakan Simulasi CFD	64
IV.9.4.	Perhitungan BHP	70
IV.10.	Perhitungan Berat Kapal Selam	71
IV.10.1.	Berat Pressure Hull dan Equistrong.....	71
IV.10.2.	Berat Light Hull	71
IV.10.3.	Berat Sistem Pada Lambung.....	73
IV.10.4.	Berat Sistem Pembangkit Daya	73
IV.10.5.	Berat Kru & Konsumsi, <i>Solid Ballast</i> , dan <i>Displacement Margin</i>	74
IV.10.6.	Total Berat Rancangan Kapal Selam	74
IV.11.	Perhitungan Titik Berat Kapal Selam.....	75
IV.11.1.	Titik Berat Pressure Hull & Equistrong.....	75
IV.11.2.	Titik Berat Light Hull	76
IV.11.3.	Titik Berat Sistem Pada Lambung	76
IV.11.4.	Titik Berat Sistem Pembangkit Daya.....	77
IV.11.5.	Titik Berat Kru & Konsumsi, <i>Solid Ballast</i> , dan <i>Displacement Margin</i>	77
IV.11.6.	Titik Berat Total.....	78
IV.12.	Stabilitas Kapal Selam	79
IV.12.1.	Stabilitas Kondisi <i>Submerged</i>	79
IV.12.2.	Stabilitas Kondisi <i>Surfaced</i>	82
Bab V	KESIMPULAN DAN SARAN	87

V.1. Pendahuluan	87
V.2. Kesimpulan.....	87
V.3. Saran.....	89
DAFTAR PUSTAKA	91
LAMPIRAN.....	93
BIODATA PENULIS	95

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.II-1 Rencana Umum Pada Kapal selam Konvensional (Rawson, K.J. and Tupper, E.C., 2001).....	8
Gambar II-2 Seehund – Midget Submarine milik Jerman (wikipedia, Midget submarine, 2015)	10
Gambar 2.II-3 DSV-Shinkai 6500, Research Midget Submarine (wikipedia, Midget submarine, 2015).....	11
Gambar II-4 Kapal saat di permukaan dan kapal selam saat dipermukaan (Burcher & Rydill, 1994).....	13
Gambar II-5 Volume yang digenangi saat <i>submerged</i> dan <i>surface</i> (Burcher & Rydill, 1994)	13
Gambar II-6 Skema sistem propulsi (Allmendinger, 1990)	14
Gambar II-7 Dimensi stabilitas (Allmendinger, 1990).....	17
Gambar II-8 Stabilitas permukaan (Allmendinger, 1990).....	18
Gambar III-1. Diagram alir metodologi penelitian.....	30
Gambar IV-1. Grafik Kebutuhan Volume Per-Orang (Burcher & Rydill, 1994).....	37
Gambar IV-2. <i>Main Ballast Tank Arrangement</i> (Burcher & Rydill, 1994)	39
Gambar IV-3. Desain Awal <i>Pressure Hull</i>	40
Gambar IV-4. Grafik Regresi Linear Crew/L	43
Gambar IV-5. Grafik Regresi Linear L/B	43
Gambar IV-6. Motor Elektik TEMA LPMR 350	46
Gambar IV-7. Generator Set CATERPILLAR-3412C	48
Gambar IV-8. AquaWatt Li-Ion Battery	49
Gambar IV-9. <i>Cylindrical Hydrophone Array</i> (Nautik, 2013).....	50
Gambar IV-10. Tiang Optronic (kiri) dan Ocular Box (kanan) (Zeiss, 2006)	51
Gambar IV-11. Combat Management System MSI-90U (Kongsberg, 2013).....	52
Gambar IV-12. Hullforms (Joubert, 2004).....	54
Gambar IV-13. Linesplan Dari Maxsurf Modeller.....	55
Gambar IV-14. Menu Frame of References and Zero Point	56
Gambar IV-15. Control Point	57

Gambar IV-16. Pengecekan Karakteristik Hidrostatik	57
Gambar IV-17. Lines Plan Midget Submarine	58
Gambar IV-18. Sketsa Awal Pembagian Ruangan	59
Gambar IV-19. Rencana Umum <i>Midget Submarine</i>	60
Gambar IV-20. Project Schematic pada ANSYS Workbench	64
Gambar IV-21. Pemberian Domain Komputasi (inlet & outlet)	65
Gambar IV-22. Hasil Proses Meshing	66
Gambar IV-23. Hasil Pendefinisian Bata (<i>Boundary</i>)	67
Gambar IV-24. Proses Running Pada Tahap Solver	68
Gambar IV-25. Fitur Function Calculator	68
Gambar IV-26. Aliran Fluida yang terjadi di sekitar kapal selam	69
Gambar IV-27. Grafik Perbandingan antara kecepatan dengan Hambatan.	69
Gambar IV-28. Komponen-komponen pada LH (Kormiltsin & Khalizef, 2001)	72
Gambar IV-29. Pemeriksaan Nilai KB	79
Gambar IV-30. Kurva stabilitas kapal selam saat kondisi <i>submerged</i>	81
Gambar IV-31. Proses Pembuatan Tangki Pada Kapal Selam	84
Gambar IV-32. Tampak 3 dimensi susunan tangki kapal selam	84
Gambar IV-33. Proses pembuatan <i>loadcase</i> pada tangki	85
Gambar IV-34. Hasil grafik stabilitas yang telah di <i>running</i>	86

DAFTAR TABEL

Tabel IV-1. Kebutuhan Operasional Kapal Selam	36
Tabel IV-2. Tabel Perbandingan <i>Space</i> dan Berat pada kapal selam non-nuklir (Burcher & Rydill, 1994)	38
Tabel IV-3. Data <i>Midget Submarine</i>	42
Tabel IV-4. Tabel Daftar Equipment	53
Tabel IV-5. Ukuran Utama <i>Midget Submarine</i>	54
Tabel IV-6. Hambatan Appendages Saat Submerged.....	62
Tabel IV-7. Hambatan appendages saat Surfaced	64
Tabel IV-8. Kecepatan dengan Hambatan Hasil Simulasi.....	69
Tabel IV-9. Hambatan Kapal Selam.....	70
Tabel IV-10. Berat Pressure Hull & Equistrong	71
Tabel IV-11. Berat Light Hull	72
Tabel IV-12. Berat Sistem Pada Lambung	73
Tabel IV-13. Berat Sistem Pembangkit Daya.....	73
Tabel IV-14. Berat Kru & Konsumsi, Solid ballast dan Displacement Margin.	74
Tabel IV-15. Kriteria Berat Kapal	75
Tabel IV-16. Rekap Titik Berat Light Hull	76
Tabel IV-17. Titik Berat Sistem Pada Lambung	76
Tabel IV-18. Titik Berat Sistem Pembangkit Daya	77
Tabel IV-19. Titik berat Kru & Konsumsi, Solid Ballast, dan Displacement Margin.....	77
Tabel IV-20. Rekap Titik Berat Total	78
Tabel IV-21. Tabel Perhitungan Stabilitas kondisi submerged	80
Tabel IV-22. Kriteria Performance Stabilitas Kondisi Submerged	81
Tabel IV-23. Kondisi Loadcase	83
Tabel IV-24. Summary hasil running stabilitas 6 kondisi loadcase.....	86
Tabel V-1. <i>Operational Requirements Midget Submarine</i>	88

Halaman ini sengaja di kosongkan

LAMPIRAN

1. Perhitungan *Migdet Submarine*
2. Rencana garis (*Linesplan*)
3. Rencana umum (*General Arrangement*)
4. *Stability report* menggunakan maxsurf stability



“Dream Big, Don’t Quit”

BAB I

PENDAHULUAN

I.1. Gambaran Umum

Bab Pendahuluan menjelaskan secara garis besar mengenai gambaran umum pengerjaan Tugas Akhir “Studi Desain *Midget Submarine* untuk Aplikasi Intelijen dan Monitoring Perairan Indonesia”, termasuk alasan yang melatar belakangi dipilihnya penelitian ini, perumusan masalah, batasan permasalahan, tujuan dan manfaat pengerjaan tugas akhir. Paparan pada Bab ini akan menjadi dasar untuk merumuskan dasar teori yang digunakan pada Bab 2 dan metodologi pada Bab 3 .

I.2. Latar Belakang Masalah

Indonesia merupakan negara maritim sebagian besar wilayahnya adalah perairan, dan tercatat di Indonesia terdapat 13.487 pulau, yang terdiri dari pulau besar dan pulau kecil . Wilayah Indonesia terbentang sepanjang 3.977 mil di antara Samudra Hindia dan Samudra Pasifik. Luas daratan Indonesia adalah 1.922.570 km² dan luas perairannya 3.257.483 km² (wikipedia, Pantai, 2014). Dengan luas perairan tersebut maka daerah perairan yang harus dijaga oleh pemerintah Indonesia tidaklah sedikit.

Kapal selam merupakan salah satu ujung tombak pemerintah dalam hal ini TNI-AL untuk menjaga kedaulatan wilayah perairan NKRI. Hal tersebut membuat Indonesia membutuhkan kapal selam yang mencukupi. Saat ini pemerintah hanya memiliki 2 (dua) buah kapal selam sebagai alat sistem persenjataan bawah laut. Kapal yang dimiliki Indonesia tersebut adalah tipe TYP 209 buatan Jerman. Jumlah kapal selam tersebut termasuk sangat sedikit, mengingat betapa luasnya perairan di NKRI jika dibandingkan dengan negara tetangga. Sebagai perbandingannya Singapura sebagai negara yang cukup kecil, memiliki 4 buah kapal selam yang dapat beroperasi.

Ditambah lagi, selama ini pembuatan kapal selam yang dimiliki oleh Indonesia ini belumlah memenuhi kebutuhan spesifik yang dimiliki oleh NKRI dengan memperhatikan sisi lingkungan yang dihadapi. Kapal selam yang dibutuhkan oleh Indonesia tidak harus memiliki kemampuan menyelam yang sangat dalam, dikarenakan rata-rata kedalaman laut Indonesia cukup dangkal. Namun tetap mampu melaksanakan *silent operations* , sehingga mampu mendeteksi keberadaan musuh secara efisien, efektif dan dengan biaya operasi yang cukup rendah.

Pada Perang Dunia ke-II, Kapal selam Mini (Midget Submarine) merupakan salah satu jenis kapal selam yang digunakan oleh tentara Jerman, Jepang dan Inggris. Kapal selam tersebut dikenal cukup ampuh dalam melaksanakan penetrasi ke daerah lawan secara *silent* dan efektif. Penggunaan Kapal selam Mini (*midget submarine*) dirasa dapat memenuhi kebutuhan Intelijensi dan monitoring perairan Indonesia. Maka, atas dasar itu Indonesia dirasa perlu memiliki jenis kapal selam ini. Oleh karena itu pelaksanaan penelitian “Studi Desain Midget Submarine untuk Aplikasi Intelijen dan Monitoring Perairan Indonesia” dirasa perlu untuk dilakukan untuk memberikan gambaran awal tentang perancangan *Midget Submarine*.

I.3. Perumusan Masalah

Dari uraian latar belakang diatas, dapat dirumuskan beberapa pokok permasalahan dalam tugas akhir ini, meliputi:

- a. Bagaimana desain *Midget Submarine* berawak yang dapat menjalankan misi Intelijen dan monitoring di kedalaman laut Indonesia?
- b. Bagaimanakah *operational requirements* kapal selam tersebut?
- c. Berapa ukuran utama yang di butuhkan untuk kapal selam tersebut?
- d. Bagaimana kajian teknis kapal tersebut?

I.4. Batasan Masalah

Penyusunan tugas akhir ini memerlukan batasan-batasan masalah yang berfungsi untuk mengefektifkan perhitungan dan proses penulisan. Batasan-batasan tersebut adalah sebagai berikut:

- a. Desain meliputi ukuran dan *General Arrangement* kapal.
- b. Bentuk desain kapal selam menggunakan bentuk kapal selam konvensional.
- c. Fungsi kapal selam ini adalah kapal selam non tempur, hanya untuk memata-matai dan monitoring.
- d. Tanpa melakukan perhitungan terhadap konstruksi kapal
- e. Tanpa melakukan analisa stabilitas saat kondisi transisi / *snorkeling*
- f. Tanpa melakukan analisa *equilibrium stability*
- g. Inovasi dititik beratkan di ukuran kapal selam berawak untuk melakukan kegiatan Intelijensi dan monitoring di kedalaman laut perairan Indonesia.
- h. Analisis yang dilakukan hambatan , stabilitas, titik berat, trim dan rencana umum

I.5. Tujuan

Tugas Akhir ini dimaksudkan untuk mendesain Kapal selam Mini (*midget submarine*) yang efektif dan efisien untuk melaksanakan misi Intelijen dan monitoring di perairan Indonesia. Adapun tujuannya antara lain sebagai berikut:

- a. Memperoleh *Operational Requirements* kapal selam sesuai kebutuhan Intelijen dan monitoring laut dalam.

- b. Memperoleh ukuran utama *Midget Submarine* yang sesuai untuk perairan Indonesia.
- c. Memperoleh gambar desain berupa Rencana Garis (*Lines Plan*) dan Rencana Umum (*General Arrangement*) dari kapal dengan ukuran utama yang diperoleh tersebut.
- d. Mendapatkan hasil analisis *performance* kapal

I.6. Manfaat

Penulisan tugas akhir ini diharapkan dapat memberikan manfaat, diantaranya sebagai berikut:

- a. Bagi masyarakat, memperkenalkan kapal selam mini (*midget submarine*) berawak sebagai salah satu penerapan teknologi perkapalan dalam bidang Intelijen.
- b. Bagi kalangan Industri, sebagai rujukan untuk pengembangan industri kapal selam di Indonesia.
- c. Bagi kalangan militer, sebagai rujukan untuk pengembangan alusista Indonesia.
- d. Bagi kalangan akademisi, sebagai sumbangsih pengetahuan dalam hal perancangan kapal selam.

I.7. Hipotesis

Hasil penelitian akan menghasilkan operational requirements dan desain kapal selam mini (*midget submarine*) yang sesuai kebutuhan Intelijen dan Monitoring untuk perairan Indonesia. Penjabaran desain berupa spesifikasi teknis dan gambar-gambar teknis penunjang proses desain.

I.8. Format Laporan

Sistematika penulisan laporan tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

BAB I. PENDAHULUAN

Bab ini menjelaskan tentang latar belakang penelitian yang akan dilakukan, perumusan masalah serta batasan masalah, tujuan yang hendak dicapai dalam penulisan tugas akhir ini, manfaat yang diperoleh, serta sistematika penulisan laporan.

BAB II. TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini berisikan tinjauan pustaka yang menjadi acuan dari tugas akhir. Dasar-dasar teori dan informasi apa saja yang dipakai, serta persamaan-persamaan apa saja yang digunakan dalam penelitian tugas akhir tercantum dalam bab ini.

BAB III. METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini menjelaskan tahapan metodologi dalam menyelesaikan permasalahan secara berurutan dimulai dari tahap pengumpulan data dan studi literatur, hingga pengolahan data untuk analisis lebih lanjut yang nantinya akan menghasilkan sebuah kesimpulan guna menjawab perumusan masalah yang sudah ada sebelumnya.

BAB IV. PERANCANGAN *MIDGET SUBMARINE*

Bab ini merupakan inti dari penelitian yang dilakukan. Pada bab ini akan dibahas mengenai proses desain *Midget Submarine* mulai dari menentukan ukuran utama yang sesuai serta memenuhi persyaratan. Kemudian dilanjutkan dengan tahap perencanaan desain rencana garis dan rencana umum *Midget Submarine* sesuai dengan ukuran utama tersebut dan peraturan-peraturan yang berlaku.

BAB V. KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini berisikan tentang kesimpulan dari proses penelitian tugas akhir ini serta pemberian saran untuk perbaikan dalam penelitian selanjutnya.

Halaman ini sengaja dikosongkan



"Duel by doing well"

BAB II

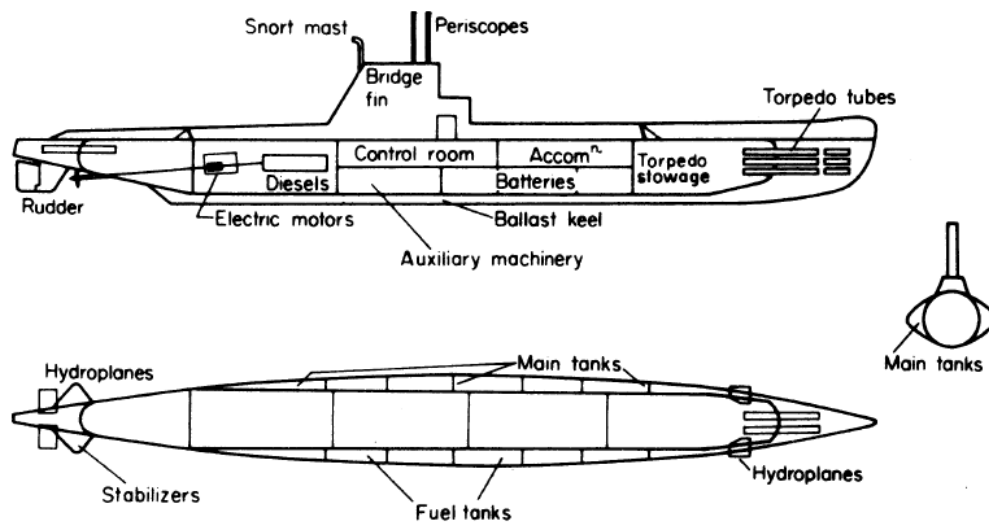
STUDI LITERATUR

II.1. Gambaran Umum

Pada Bab Sebelumnya, telah diuraikan mengenai latar belakang dan lingkup pekerjaan dari pengerjaan Tugas Akhir ini. Untuk merealisasikannya secara ilmiah, diperlukan kajian ilmu yang sudah ada dari berbagai macam referensi, baik dari penelitian sebelumnya maupun dari teori yang berkembang saat ini. Pada Bab II ini dituliskan tentang gambaran umum tentang kapal selam, teori rancang bangun kapal selam, dan performa hidrodinamika kapal selam, dari mulai konsep hidrostatik hingga teori stabilitas kapal selam.

II.2. Kapal selam

Kapal selam adalah sebuah kapal dengan propulsi mandiri yang mampu membawa personil dan / atau penumpang saat beroperasi dibawah air, menyelam, dipermukaan dan memiliki daya apung. Tekanan internal yang biasanya dipertahankan pada atau dekat satu atmosfer (ABS, 2015).



Gambar 2.II-1 Rencana Umum Pada Kapal selam Konvensional
(Rawson, K.J. and Tupper, E.C., 2001)

Perbedaan gambaran umum dari kapal selam konvensional jika dibandingkan dengan kapal permukaan adalah sebagai berikut :

- Bentuk , bentuk kapal selam dikondisikan sedemikian hingga memiliki propulsi yang efisien pada saat kondisi menyelam.
- Sebagian besar porsi badan utama kapal pada *pressure hull* (badan tekan) biasanya berbentuk lingkaran pada penampang melintang membuatnya dapat menahan tekanan hidrostatik yang tinggi. Bentuk potongan lingkaran ini dapat diartikan dengan sarat air yang lebih tinggi dibandingkan dengan kapal permukaan dengan displasemen yang sama.
- Hydroplanes*, untuk mengatur kedalaman dan sudut kemiringan kapal; biasanya terdapat 2 pasang, satu dibagian belakang dan satu lagi pada bagian depan atau pada sirip anjungan.

- d. Tangki, biasanya terdapat pada bagian luar badan tekan, dimana dapat digenangi air untuk mengakibatkan kapal tersebut menyelam.
- e. Sistem propulsi ganda. Pada kondisi menyelam sistem yang biasa digunakan adalah dengan sistem elektrik yang tersedia dari baterai dan propulsi saat kondisi permukaan adalah menggunakan diesel. Baterai membutuhkan pengisian secara rutin, ini mengartikan bahwa kapal selam konvensional harus beroperasi pada permukaan atau kedalaman periskop untuk beberapa waktu yang dibutuhkan. Kerugian ini dapat diatasi dengan kapal selam bertenaga nuklir atau dengan sistem propulsi udara secara mandiri pada kapal tersebut.
- f. Periskop dan tiang sensor memungkinkan kapal untuk beroperasi dekat dengan permukaan.
- g. Sebuah pipa masuk udara khusus, *snort mast*, memungkinkan udara diambil ketika beroperasi pada kedalaman periskop.
- h. Pada kebutuhan khusus untuk mengatur kondisi atmosfer di dalam kapal selam. Terpisah dengan kelengkapan pada kondisi normal, terdapat penyerap karbon dioksida dan generator oksigen.

(Rawson, K.J. and Tupper, E.C., 2001)

Berdasarkan ukurannya kapal selam dibagi atas tiga jenis utama yaitu:

- a. Large Submarine
Yaitu kapal selam dengan bobot lebih dari 2000 ton saat kondisi *submerged*. Beberapa contoh kapal selam tipe ini adalah Kilo-Class dan Thypoon-Class buatan Rusia. Beberapa jenis *Large Submarine* menggunakan tenaga penggerak berupa reaktor nuklir.
- b. Medium Submarine
Yaitu kapal selam dengan bobot saat menyelam berada pada kisaran nilai antara lebih dari 600 sampai dengan kurang dari 2000 ton. Salah satu contoh kapal selam medium ini adalah KRI Cakra 401 milik TNI-AL yang merupakan class U-209 buatan Jerman.
- c. Midget Submarine
Secara umum kapal selam ini didefinisikan sebagai kapal selam dengan bobot di bawah 150 ton. Namun, beberapa jenis midget submarine juga memiliki bobot hingga lebih dari 300 ton.

II.3. Midget Submarine

Midget Submarine atau kapal selam cebol / mini adalah jenis kapal selam dengan bobot dibawah 150 ton, biasanya dioperasikan oleh satu atau dua awak tapi terkadang sampai 6 atau 9, dengan sedikit atau tanpa akomodasi hidup. *Midget Submarine* biasa bekerja dengan kapal induk, dimana kapal tersebut diluncurkan dan diambil kembali, serta menyediakan akomodasi untuk kru dan staff lainnya (Pappalardo, 2010).

Baik *midget submarine* militer dan sipil telah dibuat. Jenis militer bekerja dengan kapal permukaan dan kapal selam lain sebagai kapal induknya. Jenis kapal selam cebol sipil dan militer non-tempur pada umumnya disebut dengan *submersibles*, dan biasanya bekerja dengan kapal permukaan (wikipedia, Midget submarine, 2015).

- *Military Midget Submarine*

Kapal selam cebol militer umumnya dipersenjatai dengan torpedo dan ranjau, misalnya dapat dilepaskan pada bagian sisi dan bagian hidung. Atau kapal selam tersebut mungkin berfungsi sebagai kendaraan pengirim perenang untuk mengantarkan pasukan katak ke sekitar target mereka, yang kemudian diserang dengan *mines limpet*.



Gambar II-2 Seehund – Midget Submarine milik Jerman

(wikipedia, Midget submarine, 2015)

- *Civilian Midget Submarine*

Dalam penggunaan sipil kapal selam cebol umumnya disebut *submersibles*, *submersibles* komersial digunakan dalam, misalnya, pemeliharaan bawah air, eksplorasi, arkeologi dan penelitian ilmiah. *Submersibles* lainnya tersedia secara komersial dipasarkan sebagai wahana wisata baru dan sebagai tender khusus untuk pemilik kapal pesiar kaya. Ada juga bertumbuhan

jumlah pembangun kapal selam dan awak kapal selam yang amatir *Homebuild submersible* sebagai hobi.



Gambar 2.II-3 DSV-Shinkai 6500, Research Midget Submarine
(wikipedia, Midget submarine, 2015)

II.4. Teori Desain Konseptual Awal

Dalam istilah dunia perkapalan seorang naval architect harus mampu menerjemahkan permintaan pemilik kapal (owner requirement) ke dalam bentuk gambar, spesifikasi dan data lainnya untuk membangun kapal. Dalam mendesain sebuah kapal ada beberapa tahap, yaitu:

II.4.1. Menentukan ukuran utama kapal

- *Loa (Length Overall)*
Panjang seluruhnya, yaitu jarak horizontal yang di ukur dari titik terluar depan sampai titik terluar belakang kapal
- *B (Breadth)*
Yaitu lebar terbesar diukur pada bidang tengah kapal diantara dua sisi dalam kulit kapal untuk kapal-kapal baja atau kapal yang terbuat dari logam lainnya. Untuk kulit kapal yang terbuat dari kayu atau bahan bukan logam lainnya, diukur jarak antara dua sisi terluar kulit kapal.

- *H (Height)*
Yaitu jarak tegak yang diukur pada bidang tengah kapal, dari atas lunas sampai sisi atas geladak anjungan.
- *T (Draught)*
Yaitu jarak tegak yang diukur dari sisi atas lunas sampai ke permukaan air.
- *Vs (Service Speed)*
Ini adalah kecepatan dinas, yaitu kecepatan rata-rata yang dicapai dalam serangkaian dinas pelayaran yang telah dilakukan suatu kapal. Kecepatan ini juga dapat diukur pada saat badan kapal dibawah permukaan air dalam keadaan bersih, dimuati sampai dengan sarat penuh, motor penggerak bekerja pada keadaan daya rata-rata dan cuaca normal.

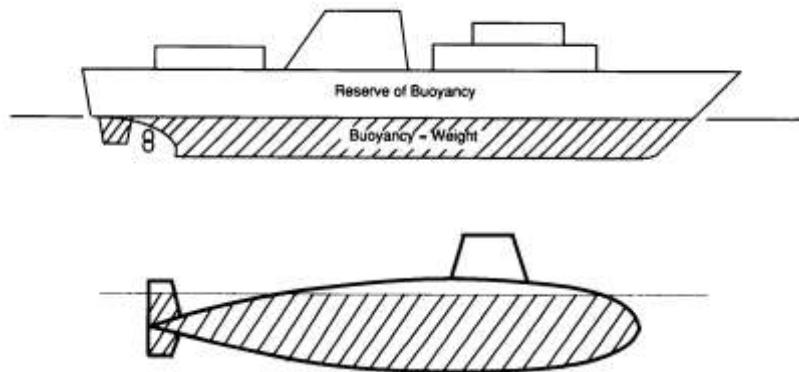
II.4.2. Prinsip Hidrostatik Kapal Selam

Prinsip Daya Apung

Pada dasarnya, kapal selam sama seperti kapal pada umumnya, dimana kapal harus di desain untuk mengapung di air dimana berat dari kapal ditopang oleh gaya apung yang disebabkan oleh berat air yang dipindahkan oleh badan kapal yang tercelup. Untuk kapal permukaan, prinsipnya tidak hanya sesederhana itu, namun kapal juga tetap harus dapat mengapung pada keadaan beberapa kompartemen telah mengalami kebocoran. Untuk mengatasi permasalahan tersebut, maka dibuatlah beberapa kompartemen diatas permukaan air yang memiliki kedap terhadap air.

Kapal selam pada permukaan juga harus memenuhi prinsip yang sama dengan kapal permukaan. Namun, diatas garis air kapal selam memiliki volume kedap air yang kecil dengan *waterplane area* yang relatif kecil. Kondisi tersebut lebih kritis dari dari kapal permukaan. Hal tersebut karena kapal selam hanya dapat mengakomodasi kebocoran yang sangat kecil. Pada saat akan menyelam, air dimasukkan kedalam tangki *ballast* kapal selam secara hati-hati. Ketika menyelam, air yang masuk harus dibatasi. Hal tersebut dikarenakan saat menyelam massa jenis kapal tidak diijinkan melebihi masa jenis air agar kapal tidak tenggelam. Untuk mencegah agar tidak

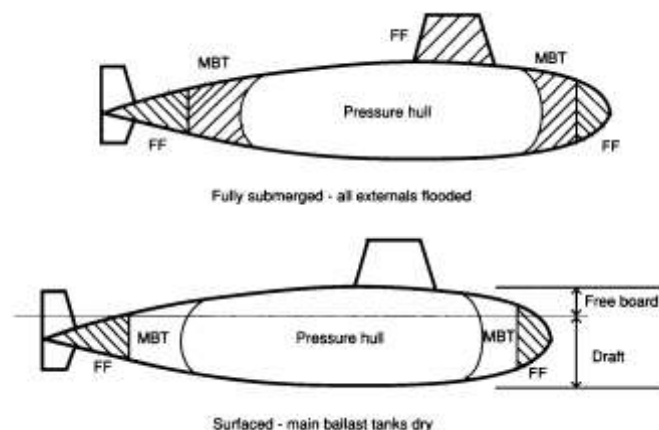
tenggelam, gaya apung yang dimiliki kapal selam harus mampu menyokong berat dari kapal selam itu sendiri (Burcher & Rydill, 1994).



Gambar II-4 Kapal saat di permukaan dan kapal selam saat dipermukaan
(Burcher & Rydill, 1994)

Kapal Selam di Permukaan

Ketika menyelam, kapal selam harus bisa melakukan penambahan berat sampai sama dengan gaya apung dari total volume kapal. Jadi, yang dilakukan adalah dengan memasukkan air laut di sekeliling ke dalam ruang di kapal. Ruang yang merupakan bagian dari volume kapal selam ini dinamakan *Main Ballast Tank* (MBT). Ruang lain mungkin juga dapat tergenangi, bisa sebagian atau keseluruhan, tergantung dimana letaknya terhadap garis batas air. Ruang-ruang tersebut dinamakan ruang Free Flood (FF) dan tidak berkontribusi terhadap gaya apung yang diterima kapal .



Gambar II-5 Volume yang digenangi saat *submerged* dan *surface*
(Burcher & Rydill, 1994)

II.4.3. Perhitungan hambatan kapal selam

Menurut buku *Submersible Vehicle System Design* hambatan kapal dapat diketahui melalui rumus berikut:

$$R_T = R_{BH} + R_{APP}$$

- R_{BH} = bare hull resistance

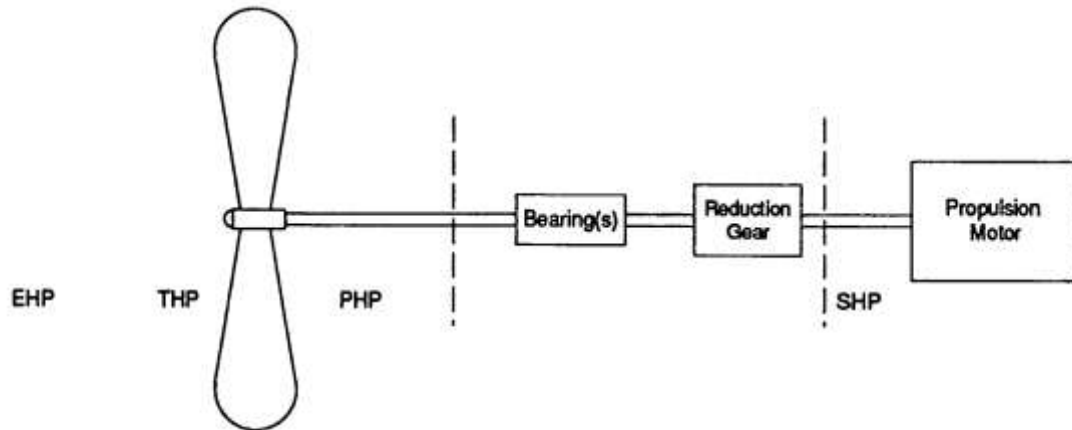
$$R_{BH} = \frac{1}{2} \rho A V^2 C_t$$

- Resistance of appendages

$$R_{APP} = \frac{1}{2} \rho A V^2 C_t$$

II.4.4. Memperkirakan daya motor induk

Menurut buku *Submersible Vehicle System Design* hambatan kapal dapat diketahui melalui skema pada Gambar II-6 dan rumus berikut:



Gambar II-6 Skema sistem propulsi
(Allmendinger, 1990)

- Perhitungan Power Mesin

$$EHP = \frac{R_T \times V}{550}$$

- Perhitungan Daya Dorong

$$THP = \frac{T \times V_A}{550} = \frac{R_t}{(1 - t)} \times \frac{(l - w)V}{550}$$

- Perhitungan *Propulsive Coefficient*

$$PC = \eta_H \eta_R \eta_O \eta_N$$

- Perhitungan SHP

$$SHP = \frac{EHP}{PC}$$

(Allmendinger, 1990)

- Perhitungan *Break Horse Power*

$$BHP = \frac{SHP}{\eta_t}$$

II.4.5. Stabilitas Kapal selam

Dimensi Stabilitas

Dimensi-dimensi ini menempatkan 6 poin yang tidak hanya untuk trim dan kalkulasi dengan baik; pusat gravitasi G dan pusat displasemen B dan juga titik metasenter melintang dan metasenter memanjang M_T dan M_L . Kehadirannya sangat mempengaruhi, contoh perubahan bebas, dua titik tambahan harus dipertimbangkan, virtuaal melintang dan memanjang dari *center of gravity*, G_{VT} dan G_{VL} . Hasil dari semua gravitasi dan gaya displasemen pada kapal selam di titik B dan G. M_T dan M_L yang seketika itu pusat lengkungan panjang garis yang perubahan B sebagai *survace vehicle* didondongkan ke dalam melintang dan memanjang. Saat kapal ditenggelamkan, B tidak berpindah dengan kecenderungan dan B, M_T serta M_L , menjadi poin yang serupa. Pada akhirnya G_{VT} dan G_{VL} adalah hasil poin dari seluruh gaya tarik bumi ini tampak sepanjang studi stabilitas memanjang dan melintang.

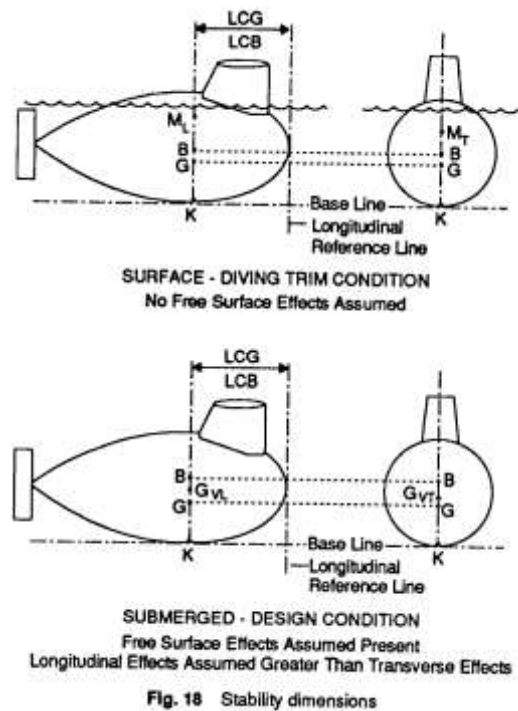
Dimensi stabilitas, termasuk hubungan-hubungan itu untuk trim, diukur secara vertikal diukur dari baseline atau bottom keel; notasi K didefinisikan pada garis-garis ini. Secara memanjang diukur dari bidang lintang yang terletak di *bow*, *amidships* atau pada beberapa poin yang cocok sepanjang kapal. Tidak ada dimensi stabilitas pada arah melintang karena seluruh poin yang berhubungan dengan bidang vertikal yang sama, biasanya bidang vertikal *centerline* kapal yang berhubungan dengan

simetri. Dimensi stabilitas ditunjukkan pada Gambar II-7 dan bisa dikelompokkan sebagai :

1. KG dan LCG : lokasi pusat gravitasi vertikal dan memanjang sampai *baseline* dan bisang lintang.
2. KB dan LCB : lokasi pusat displasemen vertikal dan memanjang ke base line dan dbidang lintang.
3. BM_T dan BM_L : radius metasentrik melintang dan memanjang untuk kondisi permukaan.
4. KM_T dan KM_L : tinggi metasenter melintang dan memanjang diatas *baseline* untuk kondisi permukaan.
5. GM_T dan GM_L : tinggi metasenter melintang dan memanjang untuk kondisi permukaan
6. BG : tinggi metasenter yang tidak dikoreksi untuk kondisi menyelam
7. GG_{VT} dan GG_{VL} : *virtual rise* memanjang dan melintang.

Kriteria 2 dan 3 untuk konsisi desain dapat diuraikan dalam dimensi-dimensi:

- Zero trim dan list : $LCG = LCB$, dengan G dan B menjadi dalam bidang vertikal yang sama.
- Persamaan dalam keadaan seimbang: $KG < KB$ atau $KG_v < KG_B$, hasil dalam positif BG atau BG_v



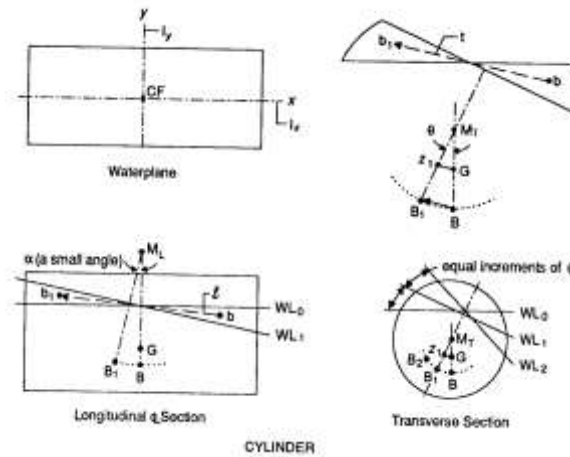
Gambar II-7 Dimensi stabilitas
(Allmendinger, 1990)

Stabilitas Permukaan

Prinsip hidrostatik digariskan perhitungannya stabilitas permukaan adalah sama untuk semua kapal yang mengapung bebas mempunyai volume air keluar diperhitungkan diatas garis air. Aplikasi dari prinsip-prinsip ini untuk kapal selam dan stabilitas permukaan kapal menghasilkan hasil yang berbeda karena bentuk, lambung timbul dan pertimbangan pusat gravitasi vertikal. Sebagai kontradiksi yang sangat lemah dan luas bidang garis air yang kecil terlalu banyak *freeboard* dari tampilan poin stabilitas.

Dari gambar di atas menunjukkan tiga pandangan silinder : Potongan melintang berisi G, B, dan M_T : Centerline memanjang berisi, G B dan ML : dan water plabe berisi x dan y aksis waterplane yang mana titik berat disebut dengan *center of flotation* (CF). Ditunjukkan juga potongan melintang melalui prisma mengandung G, B dan M_T . Dengan ilustrasi pada gambar, kemiringan secara memanjang dan melintang menyebabkan, baji dari displasemen dipindahkan dari tinggike rendah pada sisi atau ujung.

Bagian baji yang timbul dan tenggelam memiliki volume yang sama, tentunya displasemennya tetap konstan. Perpindahan baji menyebabkan volume displasemen, menyebabkan perpindahan pusat, B, berpindah dari posisi awal melalui jalur secara melintang maupun memanjang yang ditujukan. Pergeseran melintang dari B diberikan persamaan sebagai berikut;



Gambar II-8 Stabilitas permukaan
(Allmendinger, 1990)

Perubahan melintang B diberikan dengan persamaan:

$$\overline{BB_1} = \frac{V_T t}{V}$$

Dan pergeseran memanjang:

$$\overline{BB_1} = \frac{V_L t}{V}$$

Didalam persamaan ini V_T dan V_L adalah volume dari garis melintang dan baji membujur yang sedang digeser jarak t dan L , sedangkan V adalah volume displasemen. Produk itu $V_T t$ dan $V_L L$ adalah disebut garis melintang dan momen pemindahan membujur (Allmendinger, 1990).

Stabilitas Penyelaman

Telah ditemukan bahwa BM_t dan MI adalah titik yang bersifat kebetulan untuk semua kondisi operasi penyelaman dan bahwa B ‘tetap’ pada posisi dibawah air untuk kondisi ini. Konsekuensinya tidak seperti stabilitas permukaan, stabilitas saat

menyelam adalah sebuah fungsi dari tinggi metasenter BG melalui seluruh jarak dari inklinasi melintang dan memanjang. Perhitungan stabilitas diulangi disini dan bagian lengan sebagai:

$$\overline{GZ} = \overline{BG} \sin \beta$$

Dimana beta adalah teta atau alfa. Kemudian, kirva stabilitas memanjang dan melintang adalah identik karena kurva dalam pengaruh efeknya menyebabkan peningkatan virtual dari G. Stabilitas positif secara teoritis timbul pada sudut 0 sampai 180 derajat, jarak ini dibatasi pada perlintasan dimana G dapat secara realistis diperkirakan untuk tetap. BG memiliki batas atas dan batas bawah. Batas atas terhubung dengan persyaratan maneuvering seperti sebelumnya, dimana batas terbawah jels untuk memastikan stabilitas positif dalam kemunculan efek menyebabkan kenaikan virtual dari G (Allmendinger, 1990).

Pada prinsipnya keadaan stabilitas ada tiga yaitu stabilitas positif (*stable equilibrium*), stabilitas netral (*neutral equilibrium*) dan stabilitas negatif (*unstable equilibrium*).

a. Stabilitas Positif (*stable equilibrium*)

Suatu keadaan dimana titik G-nya berada diatas titik M, sehingga sebuah kapal yang memiliki stabilitas mantap sewaktu miring mesti memiliki kemampuan untuk kembali.

b. Stabilitas Netral (*neutral equilibrium*)

Suatu keadaan stabilitas dimana titik G-nya berhimpit dengan titik M. Maka momen penegak kapal yang memiliki stabilitas netral sama dengan nol, atau bahkan tidak memiliki kemampuan untuk menegak kembali sewaktu menyenget. Dengan kata lain bila kapal senget tidak ada MP maupun momen penerus sehingga kapal tetap miring pada sudut yang sama, penyebabnya adalah titik G terlalu tinggi dan berhimpit dengan titik M karena terlalu banyak muatan diatas kapal.

c. Stabilitas Negatif (*unstable equilibrium*)

Suatu keadaan dimana titik G-nya berada di atas titik M, sehingga sebuah kapal yang memiliki stabilitas negatif sewaktu miring tidak memiliki kemampuan untuk menegak kembali, bahkan sudut miringnya akan

bertambah besar, yang menyebabkan kapal miring karena gaya dari luar, maka timbullah sebuah momen penerus / *heeling moment* sehingga kapal akan bertambah miring (Prisdianto, 2012).

II.4.6. Perhitungan berat dan titik berat Kapal Selam

Dalam perhitungan berat kapal selam, tidak bisa menggunakan metode pendekatan yang biasa digunakan pada kapal-kapal permukaan. Hal tersebut dikarenakan dua alasan yang diutarakan oleh (Ibaddurahman, 2015), yaitu :

- 1 Ukuran kapal selam ditentukan semata-mata dari total *submerged displacement*.
- 2 Terdapat dua lambung pada kapal selam (*pressure & light*) dengan fungsi yang berbeda.

Atas alasan tersebut, berat lambung kapal selam dilakukan dengan metode pendekatan yang didapatkan berdasarkan buku *Theory of Submarine Design*. Menurut buku yang ditulis oleh (Kormiiltsin & Khalizef, 2001), perhitungan berat pada kapal selam dibagi atas beberapa bagian utama, yaitu:

- Berat *Pressure Hull* dan *Equistrong*
- Berat *Light Hull*
- Berat Sistem Pada Lambung
- Berat Sistem Pembangkit Daya
- Berat Kru & Konsumsi, *Solid Ballast*, dan *Displacement Margin*

II.4.7. Perhitungan kapasitas *Pressure Hull*

Pressure Hull adalah komponen utama dari kapal selam yang mengakomodasi kru pada tekanan atmosfer dan tahan terhadap tekanan penyelaman eksternal (Lloyd, 2008). Tekanan pada bagian dalam *pressure hull* ini biasanya dijaga pada satu atmosfer atau mendekati. Hal ini disebabkan pada bagian ini lah seluruh aktivitas kru pengawak kapal selam ini dilakukan. Penentuan volume *pressure hull* yang dibutuhkan oleh suatu kapal selam dapat diperoleh dengan perhitungan yang dipaparkan oleh (Allmendinger, 1990) yaitu :

$$V_{PH} = \frac{n V_m}{(1 - C)}$$

Dimana :

n = jumlah orang didalam *pressure hull*

V_m = kubik/orang, data

C = bagian volume yang digunakan dari V_{ph} yang digunakan selain manusia

II.4.8. Perhitungan Volume Main Ballast Tank

Main ballast tank dapat di hitung dengan menggunakan fraksi dari *reverse of buoyancy* atau cadangan daya apung. Kebutuhan dari *reverse of buoyancy* ini nilainya berbeda-beda, tergantung pemilihan dari desainer. Namun pada umumnya nilai tersebut berada pada kisaran 10-15% dari volume *pressure hull*. Sehingga didapatkan rumus sebagai berikut :

$$MBT Vol = \frac{(PH Vol \times ROB)}{Utility Factor}$$

Utility factor atau faktor utilitas ini adalah faktor dari pengaruh struktur *main ballast tank* dan residu air yang tersisa pada dasar tangki ketika ditiup secara keseluruhan. Proses tersebut membutuhkan tabung udara bertekanan tinggi yang dapat mensuplai kebutuhan udara (Burcher & Rydill, 1994).

II.4.9. Desain Rencana Garis

Gambar rencana garis (*Lines Plan*) adalah suatu gambar yang terdiri dari bentuk lengkung potongan badan kapal, baik potongan vertikal memanjang (*Sheer Plan*), atau potongan secara horizontal memanjang (*Half Breadth Plan*), maupun potongan secara melintang badan kapal (*Body Plan*).

Potongan badan kapal :

- *Sheer Plan*

Gambar proyeksi dari bentuk badan kapal secara memanjang, jika kapal tersebut dipotong secara memanjang sesuai dengan pembagian *Buttock Line* yang telah ditentukan.

- *Half Breadth Plan*

Gambar proyeksi dari badan kapal secara memanjang, jika kapal tersebut dipotong secara horizontal sesuai dengan pembagian *Water Line* yang telah ditentukan.

- *Body Plan*

Gambar proyeksi dari bentuk badan kapal secara melintang, jika kapal tersebut dipotong secara melintang sesuai dengan pembagian *station* yang telah ditentukan (Karnain, 2015).

II.4.10. Desain Rencana Umum

Rencana Umum atau *general arrangement* dari suatu kapal dapat didefinisikan sebagai penentuan dari ruangan kapal untuk segala kegiatan dan peralatan yang dibutuhkan sesuai dengan letak dan jalan untuk mencapai ruangan tersebut. Penyusunan Rencana Umum merupakan suatu proses bertahap yang disusun dari percobaan, pengecekan, dan penambahan. Referensinya bisa didapat dari contoh Rencana Umum kapal-kapal pembanding yang memiliki spesifikasi tidak jauh berbeda dengan kapal yang sedang dirancang (Karnain, 2015). Pendekatan penyelesaian permasalahan Rencana Umum harus didasarkan pada informasi minimum yang meliputi:

- Penentuan volume ruang muat berdasarkan jenis dan jumlah muatan yang dimuat.
- Metode penyimpanan dan bongkar muat muatan.
- Penentuan volume ruangan untuk kamar mesin berdasarkan jenis dan dimensi mesin.
- Penentuan volume ruangan akomodasi berdasarkan jumlah crew, penumpang dan akomodasi.
- Penentuan volume tangki-tangki terutama untuk bahan bakar dan ballast berdasarkan jenis mesin, jenis bahan bakar, dan radius pelayaran.
- Penentuan pembagian dan pembatasan jarak sekat melintang.
- Penentuan dimensi kapal (L, B, H, dan T).
- Lines plan yang telah dibuat sebelumnya.

II.5. Computational Fluid Dynamic (CFD)

Computational fluid dynamics, biasanya disingkat sebagai CFD, adalah cabang dari mekanika fluida yang menggunakan metode numerik dan algoritma untuk memecahkan dan menganalisis masalah yang melibatkan aliran fluida. Komputer digunakan untuk melakukan perhitungan yang diperlukan untuk mensimulasikan interaksi antara zat cair dan gas dengan permukaan yang didefinisikan oleh kondisi batas (Anderson, 1995).

II.5.1. Governing Equation

Dasar yang fundamental pada hampir semua masalah CFD adalah persamaan Navier-Stokes (diambil dari nama Claude Louis Navier dan George Gabriel Stokes), yang menjelaskan pergerakan dari suatu fluida seperti cairan dan gas (Couser, 2002). Dalam persamaan ini, asumsi pertama adalah bahwa fluida bersifat *incompressible* (tidak dapat dimampatkan), yang mengarah ke persamaan lain: kekekalan massa (*conservation of mass*).

Bentuk umum persamaan Navier-Stokes:

$$\rho \left(\frac{\partial V}{\partial t} + v \cdot \nabla v \right) = -\nabla p + \mu \nabla^2 v + f$$

di mana :

V = Kecepatan aliran

∇ = Perpindahan

ρ = masa jenis fluida

μ = *frictional resistance* yang merepresentasikan viskositas

f = gaya dari luar, misalnya gaya gravitasi

t = waktu

II.5.2. Metode Penyelesaian

Metode yang biasa digunakan untuk menyelesaikan *governing equation* di atas adalah metode diskrit. Beberapa metode diskrit yang digunakan adalah: Finite Element Method (FEM) dan Finite Volume Method (FVM).

Finite element method (FEM) menggunakan fungsi bentuk sederhana (linear atau kuadrat) pada elemen yang menggambarkan variasi variabel aliran. Persamaan pengendali dapat dipenuhi dengan penyelesaian secara eksak. Jika perkiraan persamaan tersebut tidak terpenuhi maka akan terjadi sisa (residual) yang dapat diukur kesalahannya. Kemudian sisa tersebut diminimumkan dengan cara mengalikannya dengan fungsi berat dan pengintegralan. hasilnya adalah fungsi aljabar untuk koefisien yang tidak diketahui dari fungsi perkiraan.

Finite Volume Method (FVM) dikembangkan dengan formulasi khusus metode beda hingga. Secara global, algoritma numerik yang dimiliki oleh metode beda hingga adalah dengan melakukan pengintegralan persamaan pengendali aliran fluida terhadap seluruh kontrol volume dari domain penyelesaian. Kemudian dilanjutkan dengan pendiskritan yang meliputi substitusi berbagai pendekatan beda hingga dari suku-suku persamaan yang diintegrasikan tersebut. Sehingga menggambarkan proses aliran seperti konveksi, difusi dan *source*. Pada tahap ini setiap persamaan integral akan diubah menjadi persamaan aljabar. Setelah itu persamaan-persamaan aljabar akan diselesaikan dengan metode iterasi (Ahadyanti, 2014).

II.5.3. Software

Terkait dengan metode penyelesaian yang telah dijelaskan sebelumnya, *governing equation* di atas dapat diselesaikan dengan *software-software* yang memiliki *tools* CFD, dan *software* yang sedang populer saat ini di bidang perkapalan adalah ANSYS CFX dan Fluent. Produk CFD yang dilakukan pada penelitian ini adalah CFX yang merupakan bagian dari ANSYS Software.

ANSYS CFX adalah sebuah software analisis elemen hingga (*finite element*), bisa dipakai untuk melakukan analisis mekanika benda tegar, analisis fluida, dan analisis perpindahan panas. Untuk analisa hambatan, ANSYS CFX secara terpisah mampu menganalisa hambatan viskos terkait aliran fluida dan hambatan total terkait efek dari *free surface*. Ada beberapa tahapan umum yang terdapat pada simulasi untuk proses tersebut, yaitu: *pre processor*, *solver*, *post processor*.

2.5.3.1 Pre Processor

Pre processor mengandung input dari masalah fluida. Beberapa kegiatan yang masuk dalam bagian ini adalah :

- Pendefinisian dari geometri daerah kajian dan domain komputasi
- *Grid generation* yaitu pembagian domain ke domain domain yang lebih kecil yaitu *grid* atau *mesh* dari elemen elemen kecil (cells)
- Pemilihan fenomena fisik dan kimia dari masalah yang dimodelkan
- Pendefinisian properti fluida
- Spesifikasi kondisi batas yang sesuai pada *cell* yang bersinggungan dengan batas domain

Solusi dari masalah fluida didefinisikan pada titik di dalam tiap *cell*. Akurasi dari solusi CFD diatur oleh banyaknya jumlah *cell* dalam *grid*. Secara umum semakin besar jumlah *cell* maka akurasi dari solusi yang dihasilkan menjadi lebih baik. Semakin banyak jumlah *grid* maka biaya komputasi juga semakin besar.

Oleh karena itu *grid* yang optimal memiliki *mesh* yang tidak seragam, dengan *mesh* yang halus di area yang terjadi perubahan dari titik satu ke titik lain dan *mesh* yang lebih kasar di area dengan perubahan properti relatif sedikit. Kemampuan yang juga dikembangkan adalah *self adaptive meshing* yaitu kemampuan memperhalus *grid* di daerah dengan variasi properti tinggi. Secara umum terdapat 2 bagian yang dominan di tahap Pre Processor ini yaitu definisi geometri dari domain dan *Grid generation* (Mahardika, 2007).

2.5.3.2 Solver

Terdapat beberapa teknik utama dalam mencari solusi numerik yaitu *finite difference*, *finite element* dan *spectral method*. Secara garis besar metode numerik yang menjadi dasar dari *solver* melakukan hal-hal sebagai berikut :

1. Aproksimasi dari variabel aliran yang tidak diketahui dengan memakai fungsi-fungsi sederhana

2. Diskritisasi dengan melakukan substitusi dari aproksimasi tersebut ke persamaan persamaan arus aliran dan dilanjutkan dengan manipulasi matematis

3. Solusi dari persamaan aljabar

Metode lain dikembangkan dari ketiga metode tersebut, salah satunya metode volume hingga (*finite volume*). Metode ini merupakan pengembangan dari metode *finite difference* yang memiliki formulasi khusus. Algoritma numeriknya mengandung langkah sebagai berikut :

- Integrasi dari persamaan persamaan arus dari fluida sepanjang semua volume arus dari domain.
- Diskritisasi yang melibatkan substitusi dari berbagai macam aproksimasi *finite difference* ke persamaan yang diintegrasikan. Sehingga persamaan integral diubah menjadi persamaan aljabar.
- Solusi dari persamaan aljabar dengan metode iteratif (Mahardika, 2007).

2.5.3.3 Post Processor

Tahap ini merupakan tahap untuk menampilkan hasil (*output*) dari proses simulasi numerik. Hasil dari proses simulasi numerik dapat dilihat melalui fitur “Function Calculator” yang dapat berupa: luas (*area*), gaya (*force*), volume, torsi, dan sebagainya. Selain itu, fitur pada post processor ini juga dapat menampilkan data visual. Hasil visual yang dapat ditampilkan dari fitur post processor ini di antaranya adalah sebagai berikut:

- Geometri domain
- Geometri model
- Surface fluida
- Plot vektor
- Plot kontur

- Plot aliran fluida
- Animasi
- dan sebagainya (Ahadyanti, 2014)

Halaman ini sengaja dikosongkan



“lucky is one of your power”

BAB III

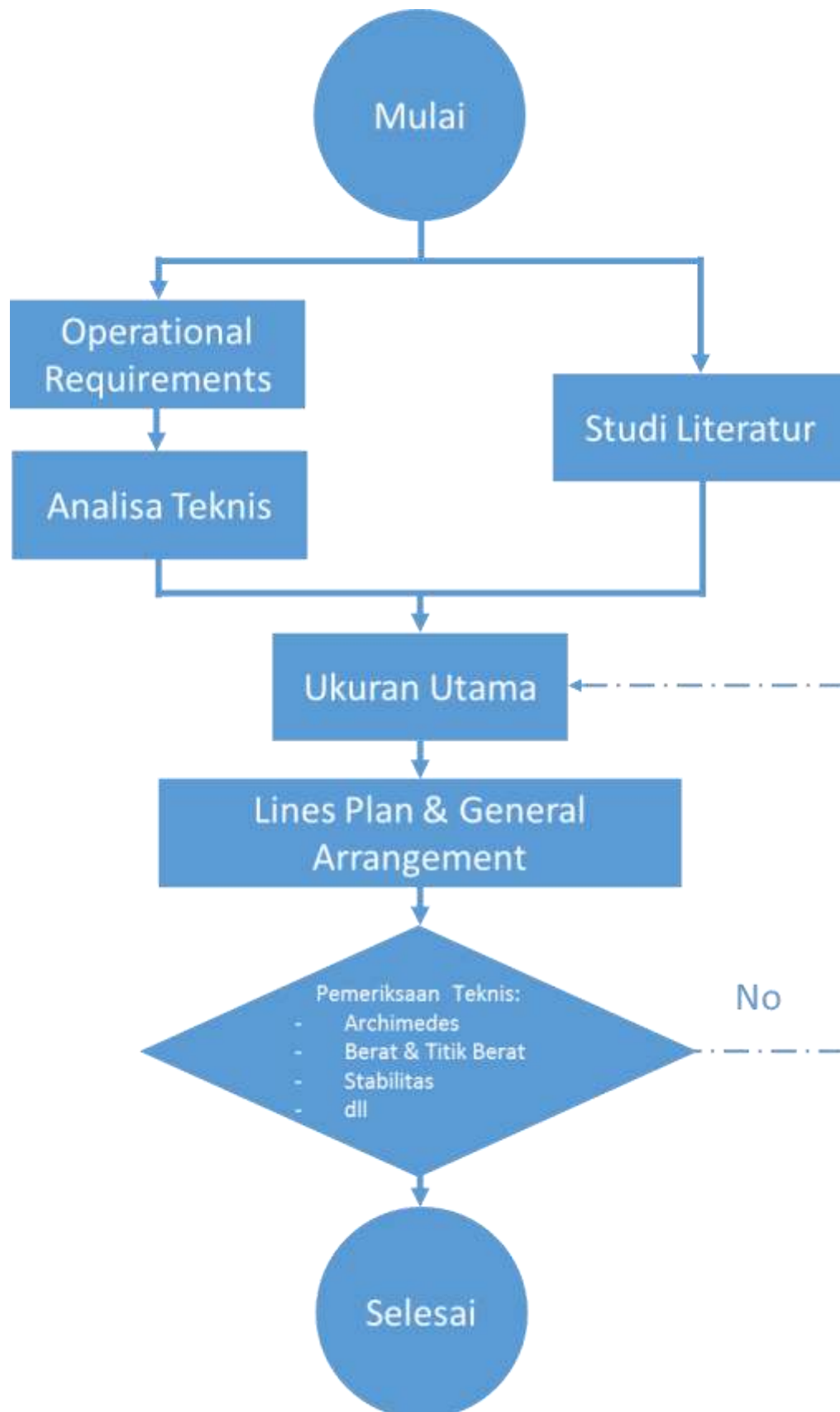
METODOLOGI

III.1. Pendahuluan

Dalam bab ini dijelaskan langkah-langkah pengerjaan Tugas Akhir mulai dari awal (studi literatur) hingga penarikan kesimpulan. Penjelasan juga dilakukan pada tiap langkah-langkahnya.

III.2 Bagan Alir

Metode dan langkah-langkah pada pengerjaan Tugas Akhir “Studi Desain Midget Submarine untuk Aplikasi Intelijen dan Monitoring Perairan Indonesia” ini disajikan dalam bentuk bagan alir seperti di bawah ini :



Gambar III-1. Diagram alir metodologi penelitian

III.3 Langkah Pengerjaan

Metode dan langkah-langkah yang dilakukan dalam pengerjaan tugas ini adalah sebagai berikut :

III.3.1 *Operational Requirements*

Operational Requirements dilakukan untuk menentukan kebutuhan operasional dari *midget submarine* untuk kebutuhan Intelijen dan monitoring laut dalam Indonesia. Kebutuhan operasional tersebut termasuk kebutuhan peralatan pada kapal selam serta kedalaman yang akan ditempuh.

III.3.2 Studi literatur

Studi literatur ditujukan untuk mendapatkan informasi tentang kapal selam yang telah ada, serta mengetahui penelitian yang telah dilakukan mengenai kapal selam sehingga mempermudah penulis melakukan proses perancangan kapal selam. Beberapa sumber yang digunakan dalam studi literatur ini adalah buku, jurnal, penelitian sruang - ebelumnya *rules*, serta tugas akhir terdahulu yang memiliki topik yang berkaitan.

III.3.3 Analisa Teknis

Pada tahap ini dilakukan analisis teknis awal dari *operational requirement* yang ada. Beberapa analisa yang dilakukan antara lain adalah volume *pressurre hull*, hambatan *surface & submerged*, dan volume *main ballast tank*. Analisa teknis dilakukan mengacu pada literatur yang ada.

III.3.4 Ukuran Utama

Pada tahap ini dilakukan penentuan ukuran utama yang sesuai dengan kebutuhan kapal selam agar didapatkan desain kapal selam yang efektif dan efisien. Ukuran

tersebut dipengaruhi kebutuhan volume pressure hull dan volume kebutuhan main ballast tank berdasarkan teori yang didapat dari literatur yang telah dihimpun.

III.3.5 Rencana Garis (linesplan) dan Rencana Umum (General Arrangement)

Pembuatan rencana garis bertujuan untuk menentukan bentuk dari kapal selam, serta digunakan untuk melakukan analisa pemeriksaan teknis. Sedangkan pembuatan rencana umum dilakukan untuk mengetahui gambar lengkap dari isi keseluruhan kapal selam, yaitu pembagian ruangan, main ballast tank, serta tangki-tangki pendukung, dan ruang-ruang pendukung lainnya. . Pembagian ballast tank beserta ruangan lainnya ini bertujuan untuk mengetahui berat dan titik berat kapal selam. Pengerjaan rencana garis dan rencana umum ini dilakukan dengan bantuan software Maxsurf V20 dan AutoCad.

III.3.6 Pemeriksaan Teknis

Pada tahap ini ditentukan apakah hasil desain dari ukuran utama, linesplan, dan GA memenuhi atau tidak. Jika tidak memenuhi, maka proses penentuan ukuran utama dan desain linesplan dan GA perlu diperbaiki hingga memenuhi kriteria. Beberapa kalkulasi (hambatan, berat, titik berat, dan stabilitas) perlu dilakukan untuk mengetahui kesesuaian teknis kapal dengan hukum-hukum fisika yang berpengaruh. Pemeriksaan teknis dilakukan berdasarkan literatur yang relevan. Pemeriksaan teknis dilakukan dengan bantuan software Maxsurf V20 dan ANSYS CFD.

III. 3.7 Pengambilan kesimpulan dan saran

Langkah terakhir dari pengerjaan tugas akhir ini adalah pengambilan kesimpulan dan saran. Kesimpulan diambil dari hasil analisa dan perhitungan yang dilakukan dari tahap awal hingga akhir. Kesimpulan yang diambil berupa ukuran utama, berapa lama kapal selam ini dapat beroperasi, kecepatan dinas, dan kriteria stabilitasnya. Sedangkan saran berisi tentang hal-hal yang dapat dikembangkan dari Tugas Akhir ini, yang nantinya dapat digunakan untuk penelitian lebih lanjut



“built to dive, not to sink”

BAB IV

PERANCANGAN *MIDGET SUBMARINE*

IV.1. Pendahuluan

Bab ini menjelaskan tentang bagaimana proses pengerjaan desain *midget submarine*, dimulai dengan menentukan *operational requirements*, penentuan volume pressure hull, volume main ballast tank, hingga mendapatkan ukuran utama kapal yang dibutuhkan untuk memenuhi kebutuhan operasional. Selain itu pada bab ini juga dibahas mengenai perhitungan hambatan kapal selam, pemilihan motor propulsi, pemilihan baterai yang akan digunakan dalam kapal selam, pembuatan rencana umum (*linesplan*) dan rencana garis (*general arrangement*), perhitungan berat dan titik berat kapal selam, serta analisa stabilitas kapal selam.

IV.2. Operational Requirements

Desain kapal selam yang dikerjakan diasumsikan akan digunakan oleh Angkatan Laut Republik Indonesia (TNI-AL) dalam melaksanakan tugas-tugas intelijen. Pembuatan *operational requirement* diasumsikan sesuai dengan kebutuhan operasional yang ideal bagi Angkatan Laut Republik Indonesia. Hasil desain *midget submarine* ini nantinya akan dioperasikan sebagai satuan patroli (*patrol unit*) dan satuan pengintai (*intelligence unit*). Operational Requirements dari kapal selam mini ini akan dijabarkan pada penjelasan selanjutnya/

IV.2.1. Fungsi Dan Tugas

Midget Submarine ini didesain untuk melaksanakan fungsi intelijen dan monitoring wilayah kedaulatan Republik Indonesia. Kegiatan intelijen tersebut berupa pengumpulan data dengan jalan penelitian (*research*) , pengamatan (observasi) , deteksi, intai (*spy*) dan penyusupan. Serta memonitoring wilayah perbatasan perairan Indonesia.

Wilayah operasional yang direncanakan dari desain *midget submarine* ini adalah wilayah perairan Indonesia yang merupakan daerah yang merupakan daerah operasi TNI-AL yang memungkinkan di susupi oleh pihak lawan. Biasanya wilayah operasional kapal selam berukuran mini ini tidak terlalu jauh dari pangkalan. Jika berada cukup jauh dari pangkalan kapal selam tersebut diangkut oleh kapal induk. Kapal selam ini nantinya juga dapat melepaskan pasukan katak sebagai pasukan pengintai milik Angkatan Laut Republik Indonesia dari dalam kapal selam.

IV.2.2. Kecepatan

Kecepatan merupakan salah satu faktor penting yang dibutuhkan sebuah kapal untuk menjalankan fungsinya. Untuk kapal perang pada umumnya memiliki kecepatan dinas yang tinggi. Demikian pula untuk kapalselam berukuran normal yang merupakan *Attack Class* memiliki kecepatan yang cukup tinggi, meskipun tidak setinggi kecepatan kapal permukaan. Kecepatan yang tinggi dibutuhkan guna melakukan pengejaran maupun untuk menghindari

kejaran musuh. Namun pada kapal selam, fungsi untuk menghindari serangan lawan cukup didapatkan dari kondisi saat kapal tersebut menyelam dan menghasilkan *noise* yang kecil. Sehingga *midget submarine* ini tidak dibutuhkan kecepatan yang tinggi, dikarenakan keterbatasan ruang untuk sistem permesinan yang dibutuhkan. Untuk kapal ini direncanakan kecepatan maksimal sekitar 9 knot, dan direncanakan dapat beroperasi selama satu hari.

IV.2.3. Kedalaman

Kedalaman yang direncanakan dapat ditempuh oleh kapal selam saat beroperasi adalah sekitar 30-100 m, dengan kedalaman maksimal 150 m. Penentuan kedalaman ini menyesuaikan dengan kedalaman laut Indonesia yang memiliki kedalaman rata-rata sekitar 130 m dari permukaan, terutama di laut Jawa (Mulyana & Salahudin, 2010). Kedalaman operasi tersebut telah disesuaikan dengan pengoperasian kapal selam milik Indonesia saat ini. Kedalaman penyelaman kapal selam milik Indonesia saat dioperasikan berada dalam kedalaman 50 m sampai dengan 70 m dari permukaan. Sehingga memiliki kapal selam yang berkemampuan terlalu tinggi dianggap tidak sesuai dengan kebutuhan TNI-AL.

IV.2.4. Awak Kapal

Jumlah *crew* kapal yang akan mengawaki kapal selam ini adalah 4 orang awak kapal dan 4 orang pasukan katak. Pasukan katak yang diangkut oleh kapal selam ini bertugas sebagai pasukan intai yang dapat keluar masuk dari kapal selam. Jumlah awak kapal di kapal selam yang dapat diakomodir oleh kapal selam ini tidak banyak, dikarenakan akomodasi yang dimiliki kapal selam jenis ini memang sangat sedikit. Hal ini cukup normal mengingat jumlah kru pada kapal selam sejenis pada era perang dunia ke-2 lebih sedikit dari jumlah tersebut.

IV.2.5. Kemampuan Operasional

Dikarenakan pengaruh ukuran kapal yang cukup minim, kapal selam mini tidak memiliki banyak ruang. Karena hal tersebut lama operasional kapal selam direncanakan dapat beroperasi dibawah permukaan tanpa snorkling selama 24 jam dalam maximum speed. Dan

mampu meregenerasi udara untuk 8 kru selama 2 hari tanpa melakukan snorkling. Kapal juga direncanakan dapat berlayar dengan dalam kondisi submerged dan surface selama 5 hari.

IV.3. Perhitungan Kebutuhan Volume Kapal Selam

Setelah diketahui *operational requirement* yang dibutuhkan oleh pihak *owner* yang dalam hal ini adalah Angkatan Laut Republik Indonesia, maka proses desain dapat dimulai. Langkah awal yang dilakukan dalam proses desain dalam Tugas Akhir ini adalah menghitung kebutuhan volume kapal selam. Perhitungan kapal selam ini menyesuaikan dengan *operational requirement*, yang ditabulasi kan menjadi berikut:

Tabel IV-1. Kebutuhan Operasional Kapal Selam

Parameter	Nilai	Satuan
Crew	8	person
Operational Depth	100	m
Max Dept	150	m
Max Speed	9	knot
Max Speed Endurance	1	day
Mission Endurance	5	day
Without Snorkilng	2	day

IV.3.1. Kebutuhan Volume *Pressure Hull*

Seperti yang dijelaskan sebelumnya, *pressure hull* merupakan komponen utama dari kapal selam yang mengakomodasi kru pada tekanan atmosfer dan tahan terhadap tekanan penyelaman eksternal. Perhitungan volume pressure hull ini dilakukan dengan tujuan mengetahui ketersediaan ruangan dan oksigen untuk mengakomodasi kru kapal selam. Dengan demikian kapal dapat beroperasi dengan kemampuan operasional yang sesuai dengan *operational requirement* yang di tentukan.

Metode yang digunakan pada perhitungan estimasi volume *pressure hull* ini menggunakan metode yang dikenalkan oleh (Allmendinger, 1990). Perhitungan tersebut menggunakan estimasi kebutuhan udara untuk para awak dan volume dari benda-benda lain pada kapal selam. Dan berikut adalah perhitungan volume pressure hull yang dibutuhkan.

$$V_{PH} = \frac{n V_m}{(1 - C)}$$

Dimana:

n = jumlah orang didalam *pressure hull*

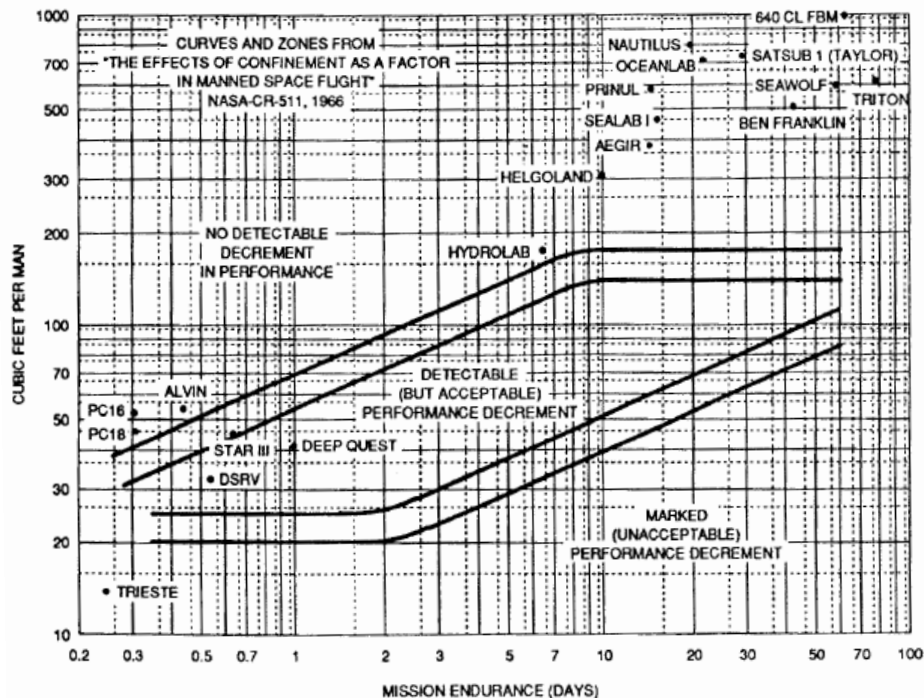
V_m = kubik/orang, data

C = bagian volume yang digunakan dari V_{ph} yang digunakan selain manusia

Dengan diketahui :

n = 8 orang

Nilai dari faktor kebutuhan volume kapal selam dapat dilihat dari buku *submersible vehicle system design* –hal 34.



Gambar IV-1. Grafik Kebutuhan Volume Per-Orang
(Burcher & Rydill, 1994)

Grafik tersebut menggambarkan jumlah kebutuhan volume didalam *pressure hull* berdasarkan lama kapal beroperasi (*mission endurance*). Seperti yang diketahui dalam operational requirement bahwa kapal selam ini memiliki *endurance* saat sedang menyelam tanpa *snorkling* selama 2 hari. Maka dari pembacaan grafik didapatkan hasil sebagai berikut:

$$V_m = 100 \text{ ft}^3/\text{orang}$$

$$= 2.832 \text{ m}^3/\text{orang}$$

Sedangkan untuk nilai dari bagian dari volume pressure hull yang digunakan selain oleh manusia, didapatkan dari buku *Concept in Submarine Design* halaman 56. Pembagian volume tersebut adalah sebagai berikut :

Tabel IV-2. Tabel Perbandingan *Space* dan Berat pada kapal selam non-nuklir
(Burcher & Rydill, 1994)

Item	Weight (%)	Space (%)
Payload	9	28
Structures	43	-
M. & A. Machinery	35	56
Acom. & Outfit	4	11
Stores	1	5
Permanent Ballast	8	

Sehingga,

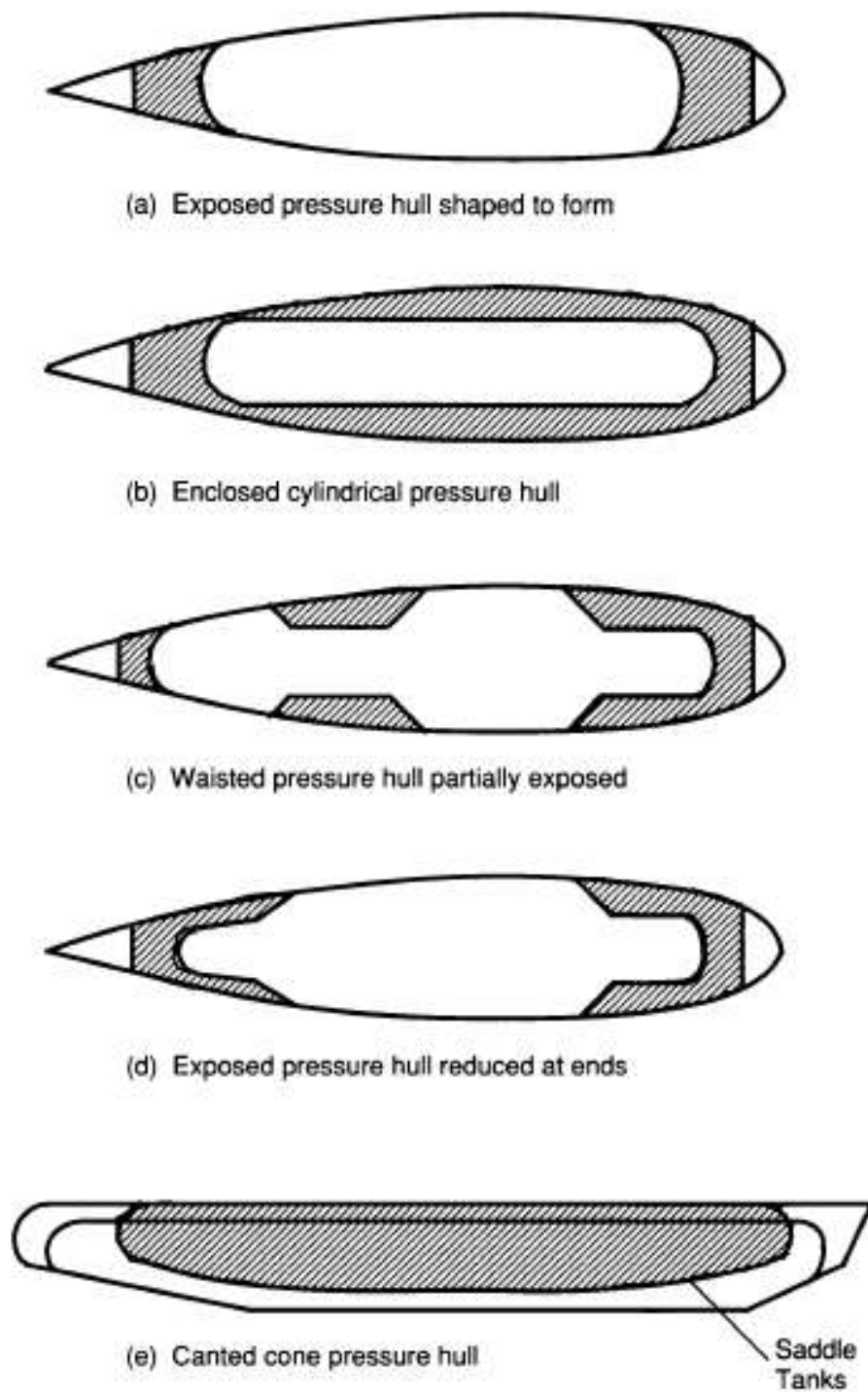
$$C = \text{machinery} + \text{Accommodation} + \text{outfit} + \text{stores}$$

$$= 72\%$$

Setelah didapatkan nilai dari faktor-faktor tersebut, maka perhitungan volume *pressure hull* dapat dilakukan. Setelah dilakukan perhitungan, didapatkan bahwa kebutuhan volume *pressure hull* minimal adalah :

$$V_{PH \text{ min}} = 80.914 \text{ m}^3$$

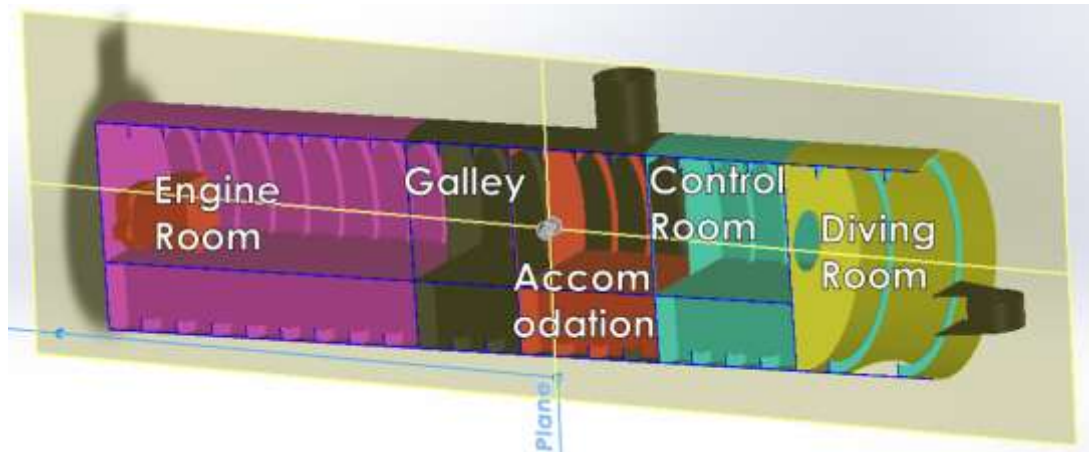
Dari kebutuhan minimal tersebut, dibuatlah bentuk *pressrue hull* yang dapat memenuhi kebutuhan volume minimal tersebut. Dalam menentukan volume desain kapal selam ini, perlu ditentukan dahulu bentuk pressure hull yang dirasa sesuai. Menurut (Burcher & Rydill, 1994) ada 5 (lima) macam konfigurasi bentuk *pressure hull* yang nantinya juga mempengaruhi bentuk dari *main ballast tank*. Konfigurasi tersebut adalah sebagai berikut:



Gambar IV-2. *Main Ballast Tank Arrangement*
(Burcher & Rydill, 1994)

Dari kelima konfigurasi bentuk pressure hull dengan main ballast tank tersebut, dipilih main ballast tank arrangement pada opsi (a) *exposed pressure hull shaped to form*. Pemilihan tersebut dipilih karena konfigurasi tersebut cukup sederhana, sehingga dalam

proses desain dan pembangunannya tidak terlalu susah. Dan berikut adalah desain awal dari bentuk *pressure hull* yang akan digunakan dalam kapal selam ini.



Gambar IV-3. Desain Awal *Pressure Hull*

Desain awal dari *pressure hull* tersebut menggunakan ukuran sebagai berikut :

$$\text{Diameter}_{PH} = 3 \text{ m}$$

$$L_{PH} = 12.5 \text{ m}$$

$$V_{PH \text{ des}} = 88.393 \text{ m}^3$$

Ukuran tersebut sudah memenuhi jika dibandingkan dengan $V_{PH \text{ min}}$ dari hasil perhitungan sebelumnya.

IV.3.2. Volume *Main Ballast Tank*

Seperti yang dijelaskan sebelumnya, *main ballast tank* ini berfungsi sebagai tangki yang mengkondisikan kapal untuk menyelam dan mengapung. Kebutuhan volumenya sangat berkaitan dengan volume *pressure hull* yang telah di hitung sebelumnya. Dengan rumus yang dikenalkan oleh (Burcher & Rydill, 1994) berikutlah volume kebutuhan MBT didapatkan.

$$MBT \text{ Vol} = \frac{(PH \text{ Vol} \times ROB)}{Utility \text{ Factor}}$$

Dari rumus tersebut maka dapat dilakukan perhitungan sebagai berikut:

$$\begin{aligned} PH \text{ Vol} &= V_{PH} \\ &= 88.393 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

ROB	=	Perbandingan <i>Reverse of Bouyancy</i> dngan PH Vol
	=	10 ~ 20 %
	=	15% (diambil)
Utility F	=	faktor penggunaan tangki ballast terhadap struktur tangki dan residu air dalam tangki
	=	95% (concepts in submarine design - hal 31)

sehingga didapatkan nilai sebagai berikut,

$$\text{MBT Vol} = 13.957 \text{ m}^3$$

IV.3.3. Perhitungan *Form Volume Kapal Selam*

Dengan penambahan MBT sebelumnya, sekarang daya apung yang dihasilkan oleh volume badan tekan dapat di normalisasikan agar dapat menyelam. Namun penambahan kedua Volume tersebut tidaklah cukup, karena perlu ditambahkan dengan volume dari area *free flood*. Sehingga diperlukan penambahan volume *free flood* untuk mendapatkan volume yang dibutuhkan untuk *envelope* dari kapal selam tersebut. Penambahan tersebut bernilai sekitar 15 % dari penambahan volume sebelumnya. Dan nilai dari *form volume* dari kapal selam adalah :

$$\text{Form Volume} = (\text{PH Vol} + \text{MBT Vol}) \times 1.15$$

$$\text{Form Volume} = (88.393 + 13.857) \times 1.15$$

$$\text{Form Volume} = 117.702 \text{ m}^3$$

IV.3.4. Perhitungan Displasemen Normal

Displasemen Normal yang dimaksudkan disini adalah berat air laut yang dipindahkan oleh badan kapal selam saat kapal selam tersebut sepenuhnya menyelam. Dimana volume keseluruhan badan kapal selam tersebut adalah volume dari *form volume* yang telah didapatkan sebelumnya.

$$\Delta_{normal} = D_0 = V_0 \times \rho_{sw}$$

Diketahui bahwa,

V_0 = Form Volume

$$= 117.702 \text{ m}^3$$

$$\rho_{sw} = 1.025 \text{ ton/m}^3$$

Sehingga, nilai dari Displasemen Normal adalah

$$\Delta_{normal} = D_0 = 120.654 \text{ ton}$$

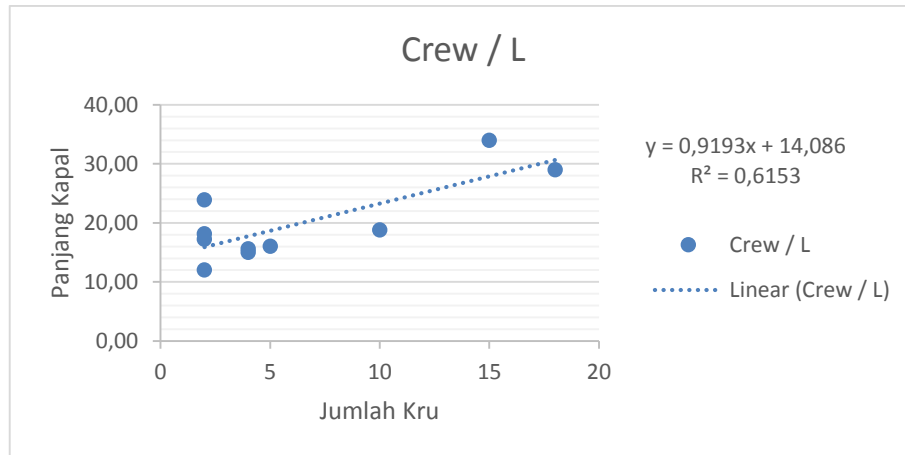
IV.4. Penentuan Ukuran Utama Awal

Untuk menentukan ukuran utama awal dari kapal selam yang akan didesain, dikumpulkan terlebih dahulu data-data kapal jenis *midget submarine* yang sudah pernah ada. Data-Data kapal tersebut kebanyakan berasal dari jaman perang dunia ke-2. Berikut adalah data-data *midget submarine* yang pernah dibuat dan beroperasi.

Tabel IV-3. Data *Midget Submarine*

No.	Name	Country Origin	Built	Crew	Length (m)	Beam (m)	Draught (m)	Displacement (tons)		Speeds (kn)	
								Sur	Sub	Sur	Sub
1	Euronaut	Germany	2003	5	16.01	2.50	-	57.30	67.30	8.00	-
2	Ghaidir Class	Iran	2007	18	29.00	3.00	2.50	115.00	120.00	11.00	-
3	Ko-Hyoteki Class	Japan	1940	2	23.90	1.80	2.60	-	47.00	23.00	19.00
4	Kairyu Class	Japan	1943	2	17.20	1.20	-	-	19.30	7.00	10.00
5	Seehund	Germany	1943	2	12.00	1.50	-	17.00	18.02	7.00	3.00
6	Bathyscaphe Trieste	italy	1945	2	18.15	3.51	-	-	50.00	-	-
7	CB-class	italy	1943	4	14.99	3.00	2.05	35.40	44.30	7.50	7.00
8	Sang-O Class	N Korea	-	15	34.00	3.80	-	275.00	370.00	7.50	9.00
9	X-Class	UK	1944	4	15.62	1.75	1.60	27.00	30.00	6.50	5.50
10	Una-Class	Yugoslavia	1989	10	18.82	2.40	2.40	76.10	87.60	7.00	8.00

Dari data yang ada tersebut dilakukan regresi linear terhadap kesesuaian yang dengan kebutuhan kapal selam yang akan didesain dalam tugas akhir ini. Akan diambil 2 parameter yang diambil dari data tersebut terhadap kapal selam desain. Parameter pertama adalah perbandingan antara jumlah kru dengan panjang kapal. Dan yang kedua adalah panjang kapal terhadap lebar.



Gambar IV-4. Grafik Regresi Linear Crew/L

Dari hasil regresi linear tersebut didapatkan persamaan garis sebagai berikut:

$$\begin{aligned} &\text{Crew / L} \\ y = & 0.9193x + 14.086 \end{aligned}$$

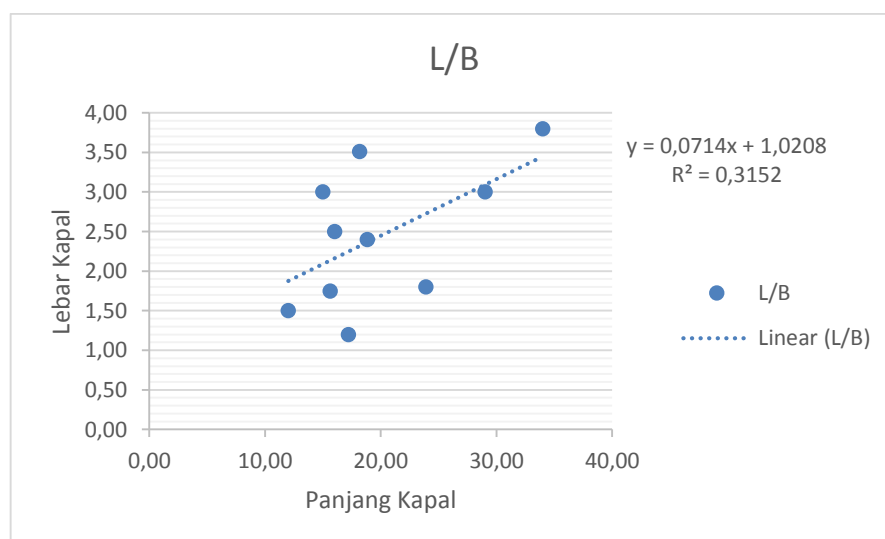
dimana,

$$x = \text{crew} = 8 \text{ orang}$$

sehingga didapatkan panjang kapal sebagai berikut,

$$y = L = 21.4404 \text{ m} \approx 21 \text{ m}$$

Nilai tersebut dibulatkan kebawah, sehingga didapatkan nilai panjang kapal selam adalah 21 m.



Gambar IV-5. Grafik Regresi Linear L/B

Sama seperti grafik regresi linear yang sebelumnya, dari grafik tersebut akan diambil persamaan garis yang nantinya digunakan untuk menentukan diameter kapal selam. Persamaan regresi linear yang didapat adalah sebagai berikut.

$$L/B$$

$$y = 0.0714x + 1.0208$$

dimana,

$$x = L = 21 \text{ m}$$

sehingga,

$$y = B = 2.5202 \text{ m} \approx 3 \text{ m}$$

Nilai dari lebar kapal di bulatkan keatas, hal ini dipengaruhi karena pada ukuran sebelumnya telah dibulatkan kebawah. Selain itu, ukuran diameter yang didapatkan dirasa kurang mencukupi untuk akomodasi pada kapal selam ini, dan juga menyesuaikan dengan hasil desain awal dari *pressure hull*. Sehingga didapatkan lebar kapal selam atau diameter dari kapal selam ini adalah 3 m.

IV.5. Machinery

Berdasarkan penjelasan oleh (Burcher & Rydill, 1994) pada bukunya yang berjudul *Concepts in Submarine Design*. Untuk keperluan desain pada tahap awal dapat ditentukan terlebih dahulu permesinan yang akan di pasang pada kapal selam. Pada Tugas Akhir ini akan dilakukan estimasi awal permesinan yang akan digunakan. Selanjutnya, akan diperiksa kembali apakah permesinan yang ditentukan sudah memenuhi. Estimasi awal permesinan yang akan dilakukan disini adalah sistem permesinan untuk kapal selam *Diesel-Electric*.

IV.5.1. Effective Power

Ukuran dari sebuah motor dipengaruhi oleh tenaga maksimum yang dibutuhkan oleh kapal selam sebagai propulsor (pendorong). Pada umumnya tenaga yang dibutuhkan berbanding lurus dengan kecepatan maksimum saat menyelam, atau yang

biasa disebut dengan U_{max} . Efektivitas tenaga yang dibutuhkan oleh kapal selam ini dapat diestimasikan dengan algoritma dibawah ini.

$$Power_{eff} = K_p \times (Form Vol)^{0.64} \times U_{max}^{2.9}$$

dengan,

$$\begin{aligned} K_p &= \text{koefisien propulsi (biasa diambil 20)} \\ &= 20 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Form Vol &= \text{kebutuhan volume hull form} \\ &= 117.702 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} U_{max} &= \text{kecepatan maximum} \\ &= 9 \text{ knot} \end{aligned}$$

Maka didapatkan,

$$\begin{aligned} Power_{eff} &= 247534.1323 \text{ Watt} \\ &= 247.534 \text{ kW} \end{aligned}$$

IV.5.2. Motor Powering

Setelah diketahui tenaga efektif yang dibutuhkan untuk menggerakkan kapal dalam kecepatan maksimal, selanjutnya dicari kebutuhan power dari motor. Kebutuhan power dari motor ini dipengaruhi oleh berbagai macam faktor. Dimana faktor-faktor tersebut merupakan koefisien propulsif.

$$Motor Power = \frac{Power_{eff}}{PC}$$

$$Motor Power = \frac{Power_{eff}}{\eta_0 \times \eta_H \times \eta_0}$$

Dimana,

$$\eta_0 = 0.65$$

$$\eta_H = 1.3$$

$$\eta_s = 0.98$$

Sehingga didapatkan nilai kebutuhan daya motor,

$$Motor Power = 298.918 \text{ kW}$$

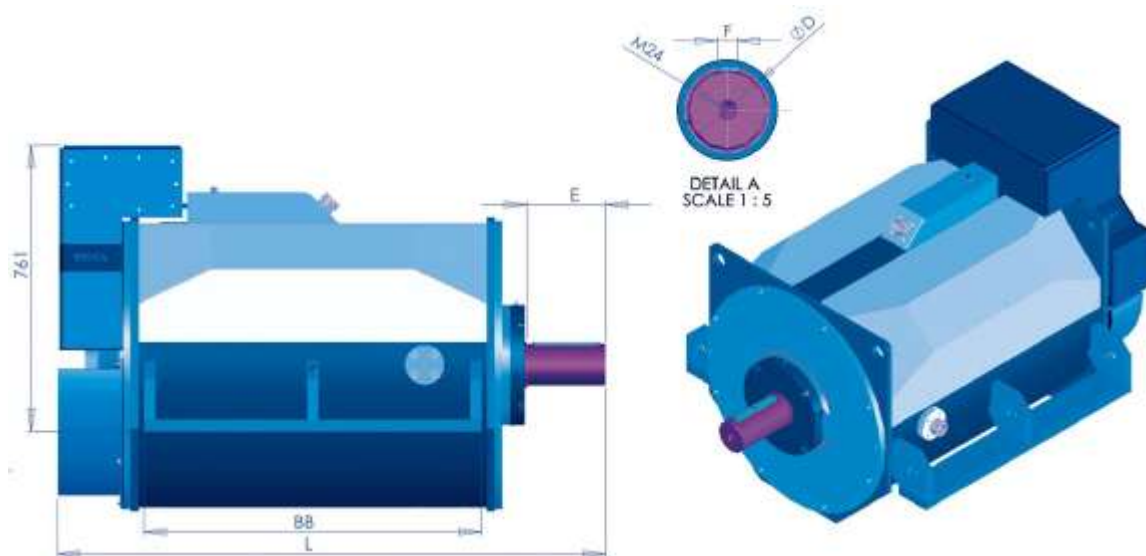
Di tambahkan dengan koreksi 15% menjadi,

$$Motor Power = 343.760 \text{ kW}$$

IV.5.3. Pemilihan Motor

Setelah kebutuhan Motor Power didapatkan, maka langkah berikutnya adalah menentukan motor induk yang akan digunakan. Motor induk yang digunakan disini adalah motor elektrik. Berdasarkan katalog mesin induk kapal didapatkan bahwa jenis dan ukuran motor induk dengan spesifikasi sebagai berikut :

Nama Produk Motor	=	TEMA
Type Mesin	=	LPMR 350
Daya Mesin	=	350 KW
RPM	=	4000 RPM
Panjang	=	1164 mm
Lebar	=	1050 mm
Tinggi	=	910 mm
Berat	=	733 kg



Gambar IV-6. Motor Elektik TEMA LPMR 350

IV.5.4. Pemilihan Generator Set

Pemilihan kebutuhan daya generator set ini diambil dari hasil perhitungan power efficiency. Hal ini dikarenakan kapal selam ini menggunakan main propulsion berupa electric motor. Perlu diketahui, motor elektrik hanya diperkenankan menggunakan generator

dengan maksimal daya keluaran sebesar 40% lebih besar dari daya motor elektrik yang digunakan (Ibaddurahman, 2015). Namun pemilihan Generatot Set juga tidak boleh lebih kecil dari daya motor yang terpasang.

$$1 N_{mot} \geq N_{gen} \leq 1.4 N_{mot}$$

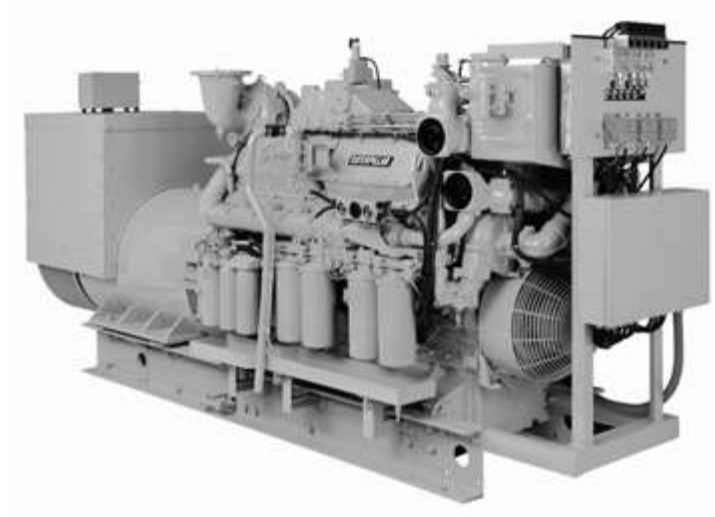
Sesuai dengan prinsip teresebut maka pemilihan daya yang digunakan adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} 1 N_{mot} &= \text{Motor Power} \\ &= 350 \text{ kW} \end{aligned}$$

$$1.4 N_{mot} = 418.485 \text{ kW}$$

dari kebutuhan daya Generator Set yang didapatkan, maka dipilihlah GenSet dengan nilai diantara nilai tersebut berdasarkan katalog yang ada di pasaran. Dan data Genset yang dipilih adalah sebagai berikut :

Nama Produk Mesin	=	CATERPILLAR
Type Mesin	=	3412C
Daya Mesin	=	400 kW
RPM	=	1800 RPM
Panjang	=	3324 mm
Lebar	=	1267 mm
Tinggi	=	1556 mm
Berat	=	4327 kg
Jumlah	=	1 Generator



Gambar IV-7. Generator Set CATERPILLAR-3412C

IV.6. Battery

Untuk menjalankan kapal selam saat menyelam diperlukan baterai sebagai sumberdaya penggerak motor elektrik. Hal ini dikarenakan mesin dari generator set memerlukan gas buang saat bekerja. Sedangkan pada saat kondisi menyelam, kapal selam tidak bisa membuang gas buang dari mesin diesel tersebut. Sehingga sumberdaya yang memungkinkan dapat bekerja saat menyelam adalah battery.

IV.6.1. Estimasi Kebutuhan Daya Listrik Kapal

Kebutuhan daya yang diperlukan pada kapal ini adalah keseluruhan daya listrik yang harus disuplai oleh baterai saat kapal berlayar. Baterai harus dapat mensuplai daya untuk sistem navigasi & komunikasi, lampu-lampu, alarm, dan perlengkapan akomodasi lainnya. Untuk keperluan estimasi, perhitungan ini dapat diasumsikan porposional dengan PH Vol. Dan berikut adalah daya yang dibutuhkan untuk kapal selam ini :

$$\text{Sub HL} = 0.75 \text{ HLPAY} + 0.075 \times \text{PH Vol}$$

dimana,

$$\text{HL Pay} = 1586.824 \quad \text{watt}$$

$$\text{PH Vol} = 88.393 \text{ m}^3$$

sehingga didapatkan,

$$\text{Sub HL} = 1196.747 \quad \text{watt}$$

IV.6.2. Estimasi Jumlah Baterai

Setelah didapatkan jumlah daya yang dibutuhkan untuk menjalankan kapal selam, selanjutnya dapat dilakukan perhitungan untuk menentukan jumlah baterai. Jumlah baterai didapatkan dengan menggunakan rumus berikut:

$$\text{No. of Batteries } (N_{\text{Batt}}) = \frac{\text{Submerged Energy}}{\text{Stored Energy/cell}} \times (1 + x)$$

dimana,

$$\begin{aligned} \text{Submerged Energy} &= \text{Sub HL} + \text{Propulsion Motor Power} \\ &= 351.197 \text{ kW} \end{aligned}$$

Stored energy/cell adalah daya yang disediakan oleh baterai tiap sell nya, data tersebut didapatkan setelah pemilihan baterai yang dibutuhkan. Dan berikut adalah pemilihan baterai untuk *midget submarine* ini:

Merk	=	Aquawatt
Type	=	Lithium Ion
Voltage	=	50 V
Current	=	200 Ah
L	=	754 mm
B	=	560 mm
H	=	320 mm
Energy Stored / cell	=	10.000 Watt



Gambar IV-8. AquaWatt Li-Ion Battery

dari hasil perhitungan didapatkan jumlah baterai yang dibutuhkan adalah,

$$\begin{aligned} N_{\text{batt}} &= 42,123 \text{ baterai} \\ &= 43 \text{ baterai} \end{aligned}$$

IV.7. Perlengkapan Kapal Selam

Dalam melaksanakan tugas-tugas intelinennya, kapal selam membutuhkan peralatan peralatan yang berbeda dengan kapal pada umumnya. Dan berikut adalah beberapa perlengkapan yang akan digunakan pada desain *midget submarine* untuk menjalankan misinya.

IV.7.1. *Cylindrical Hydrophone Array*

Hydrophone adalah mikrofon yang dirancang untuk digunakan di bawah air untuk merekam atau mendengarkan suara bawah air. Kebanyakan hydrophone berbasis pada transduser piezoelektrik yang menghasilkan listrik ketika mengalami perubahan tekanan. Bahan piezoelektrik tersebut, atau transduser dapat mengkonversi sinyal suara menjadi sinyal listrik karena suara adalah gelombang tekanan. Beberapa hydrophone dapat diatur dalam suatu susunan sehingga akan menambah sinyal dari arah yang diinginkan sementara mengurangi sinyal dari arah lain. Pada Kapal Selam hydrophone disusun sedemikian rupa sehingga berbentuk cylindrical untuk mendapatkan suara dari berbagai arah 360° pada kapalselam.



Gambar IV-9. *Cylindrical Hydrophone Array*
(Nautik, 2013)

Dengan dimensi:

Diameter	= 73.5 cm
Tinggi	= 39.0 cm
Berat	= 220 kg

IV.7.2. Optronic System

Optronic System adalah sensor pada kapal selam yang berfungsi sama dengan periskop tanpa memerlukan tabung periskop, sehingga membebaskan ruang desain selama konstruksi dan membatasi risiko kebocoran air dalam hal kerusakan. Sebuah tiang Photonics menggantikan mekanik, line-of-sight sistem melihat dengan peralatan digital, mirip dengan kamera *digital array*, dan memiliki kendala *locational* dan dimensi kurang dari periskop tradisional.

Tidak seperti periskop, alat ini tidak perlu berada langsung di atas pengguna, dan itu hanya membutuhkan penetrasi tekanan lambung kecil untuk kabel. Hal ini memungkinkan Photonics tiang sesuai sepenuhnya dalam berlayar kapal selam dan berarti ruang kontrol tidak perlu ditempatkan langsung di bawah layar.

Sebuah tiang *Photonics* beroperasi dengan naik di atas air sama dengan telescoping mobil-antena dan menyediakan informasi melalui berbagai sensor, seperti definisi tinggi cahaya rendah dan kamera *thermographic*. Gambar dan informasi dapat muncul pada layar panel untuk analisis. The *Photonics* tiang juga dapat mendukung navigasi, peperangan elektronik, dan fungsi komunikasi dari optik-periskop tiang konvensional.

Dimensi :	Diameter tabung	= 190.5 mm
	Diameter Ocular box	= 610.0 mm
	Berat	= 1250 kg



Gambar IV-10. Tiang Optronic (kiri) dan Ocular Box (kanan)
(Zeiss, 2006)

IV.7.3. Combat Management System

Submarine Combat Management System (CMS) dirancang untuk Abad 21 persyaratan operasional dan pengawakan untuk kapal selam konvensional. CMS biasanya terdiri 3-5 konsol multi fungsi (MFC). Jumlah ini dapat dengan mudah disesuaikan atas atau ke bawah untuk memenuhi konsep operasional pelanggan atau agar sesuai dengan ruang yang tersedia. Pada kapal selam ini direncanakan akan digunakan 2 CMS.



Gambar IV-11. Combat Management System MSI-90U
(Kongsberg, 2013)

Dalam tugasnya di lapangan CMS biasanya dilengkapi fitur sebagai berikut :

Fungsi Aplikasi Pokok:

- Sensor Integration
- Target Motion Analysis
- Classification/Identification
- Threat Evaluation
- Tactical Functions
- Engagement Analysis
- Weapon Preparation & Control

Fungsi Tambahan:

- Data Recording
- Image Recording
- Replay
- Built-in simulation

IV.7.4. Equipment

Setelah didapatkan data-data yang akan digunakan pada kapal selam yang didesain ini. Data-data tersebut akan ditabulasikan. Dan berikut adalah data hasil tabulasi dari pengumpulan data peralatan :

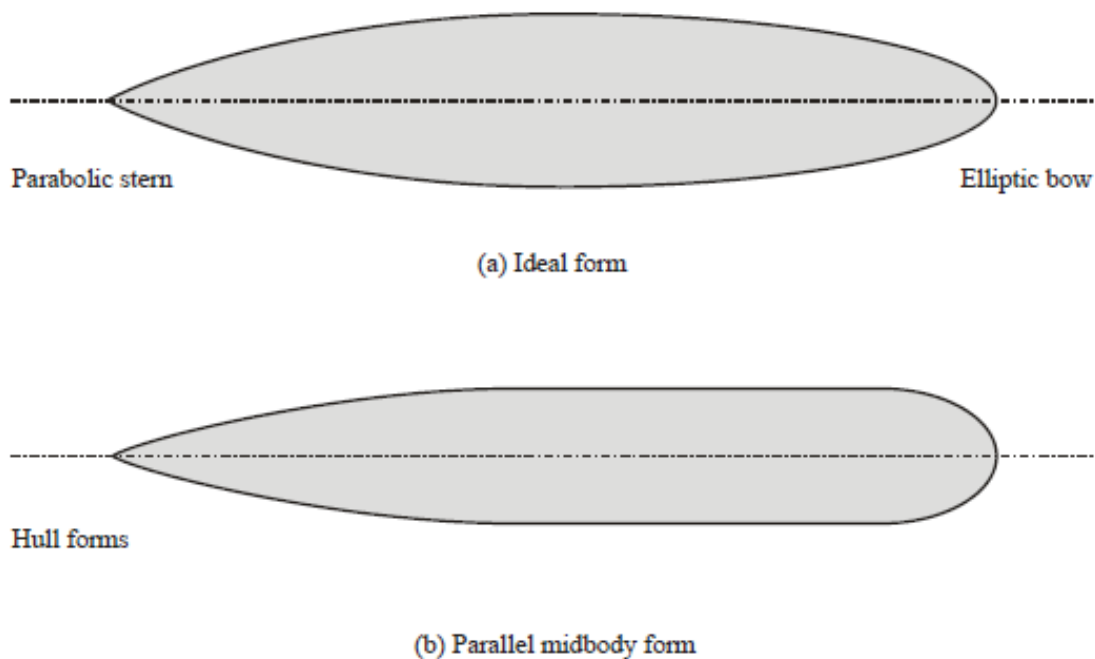
Tabel IV-4. Tabel Daftar Equipment

Nama Item	Merk	Type	Jumlah	@Ukuran (mm)			Volume (m3)	(Kg)	Berat	Keterangan
				Panjang	Lebar	Tinggi		@Berat	total	
Inner of Pressure Hull										
Motor Electric	TEMA LPMR	LPMR-350	1	1164	1050	910	1.112	733	733	350 KW
Diesel And Generator	CATERPILLAR	3406C	1	3324	1267	1556	6.553	4327	4327	250 KW
Battery	Aquawatt	Li-ion	56	700	390	330	5.045	100	5600	50V 160Ah
Combat Management System (CMS)	Kongsberg	MSI-90U	2	1400	600	1660	2.789	200	400	-
Compressor	BAUER	Mar 250-E	1	1250	590	630	0.465	135	135	250 l/min
Tabung Kompresor	-	-	4	240	(dia)	1480	0.268	60	240	isi 6 m3
Outer of Pressurre Hull										
Cylindrical Hydrophone Array (CHA)	-	-	1	73.5	(dia)	39	0.00066156	220	280	
Passive Ranging Sonar (PRS)			6	1180	516	761		32	192	
Optronic	Carl Zeiss	Sero 400	1	190.5	(dia)	< 11 m		1200	1200	
Intercept Hydrophone Array			6	107	(dia)	290		3.5	21	
Echo Sounder			4	180	(dia)	305		5	20	
									13148	kg
									13.148	ton

IV.8. Desain Rencana Garis dan Rencana Umum

Pada tahap sebelumnya telah dilakukan kalkulasi untuk menentukan ukuran utama kapal dan bentuk lambung kapalselam. Bentuk yang dijadikan opsi pemilihan lambung adalah bentuk *ideal form* dan *paralel midbody form*. Bentuk idealform memiliki ciri khas berupa diameter yang terus berubah sepanjang badan kapal (Joubert, 2004). Haluan akan berbentuk elipsoid dan buritan akan berbentuk paraboidal. Sedangkan dengan *paralel mid body form*, bagian haluan akan tetap berbentuk elipsoid dan buritan berbentuk paraboidal. Yang membedakan adalah pada bagian tengahnya kapal akan memiliki diameter yang konstan hingga panjang tertentu.

Dengan menggunakan *Idealform* aliran fluida akan mengalir lebih lancar, sehingga hambatan akan lebih kecil. Namun, salah satu bahan pertimbangan perencanaan pembuatan *hullform* adalah kesederhanaan *lines plan*. Kesederhanaan *lines plan* tersebut dibutuhkan guna mempermudah proses produksi yang akan dilakukan nantinya. Dikarenakan berberapa pertimbangan tersebut bentuk hullfom yang dipilih adalah *parallel midbody form*.



Gambar IV-12. Hullforms
(Joubert, 2004)

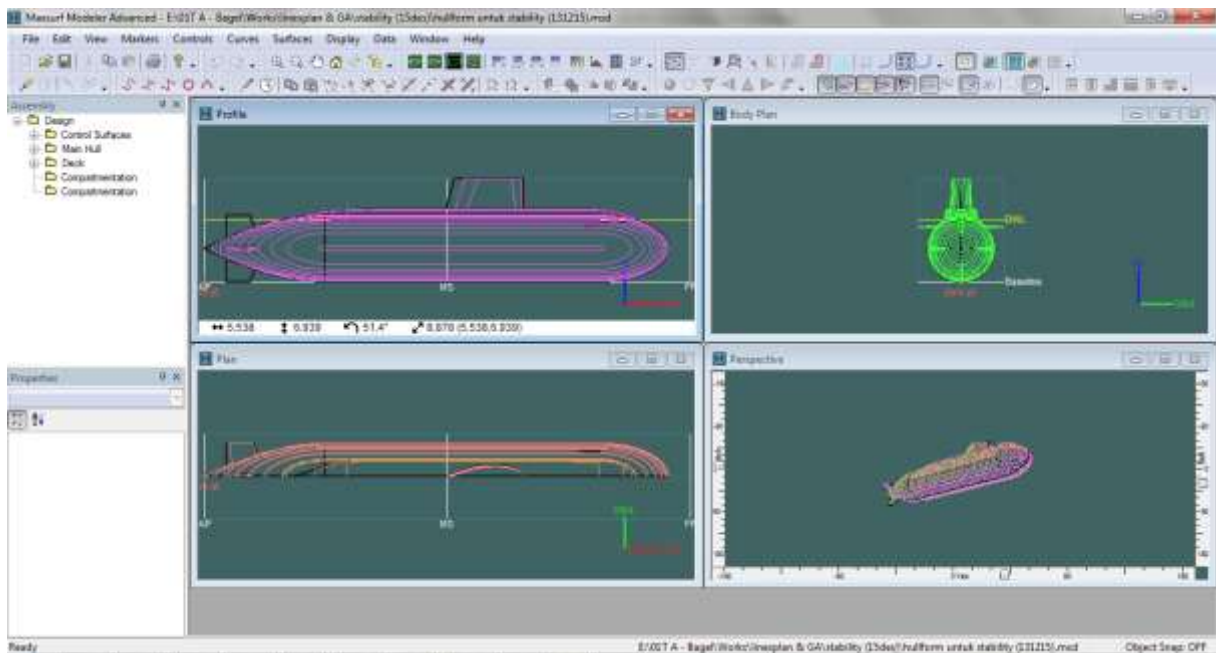
Selain hal itu berdasarkan pernyataan dari DTSSO, didapatkan bahwa variabel penting dalam menentukan kinerja hidrodinamik dari kapal selam adalah rasio Panjang (L) terhadap Lebar (B). Banyak penelitian telah menyatakan desain kapal selam dengan rasio L: B sekitar 7 (Joubert, 2004). Pernyataan ini sangat penting dalam hal nilai-nilai parametrik dari desain kapal selam, karena merupakan dasar untuk membuat desain yang telah meningkatkan kinerja hidrodinamik. Pernyataan tersebut menguatkan hasil regresi linear yang telah dilakukan sebelumnya, yang mendapatkan perbandingan $L : B = 21:3$ yang sesuai dengan rasio L : B adalah 7. Dengan beberapa pernyataan tersebut maka desain kapal selam tipe *midget* ini akan dibuat dengan batasan ukuran sebagai berikut :

Tabel IV-5. Ukuran Utama *Midget Submarine*

L	21	m
B	3	m
Vol. Disp	117.702	m ³
Disp	120.64	ton

IV.8.1. Pembuatan *Lines Plan*

Dari data ukuran utama awal yang di dapatkan, langkah selanjutnya adalah pembuatan *lines plan* dengan bantuan *software* Maxsurf Modeller. Pada Gambar IV-13 dapat terlihat model *Lines Plan* yang di dapatkan dari *software* Maxsurf Modeller.



Gambar IV-13. Linesplan Dari Maxsurf Modeller

Pembuatan lines plan dilakukan dengan mengambil salahsatu satu sample design kapal selam yang tersedia di dalam Maxsurf Modeller itu sendiri. Dari sample design tersebut kemudian dilakukan pengaturan-pengaturan pada menu bar Data agar lines plan yang didapat sesuai dengan ukuran utama optimal (Karnain, 2015).

Pengaturan-pengaturan tersebut antara lain sebagai berikut:

a. *Grid Spacing*

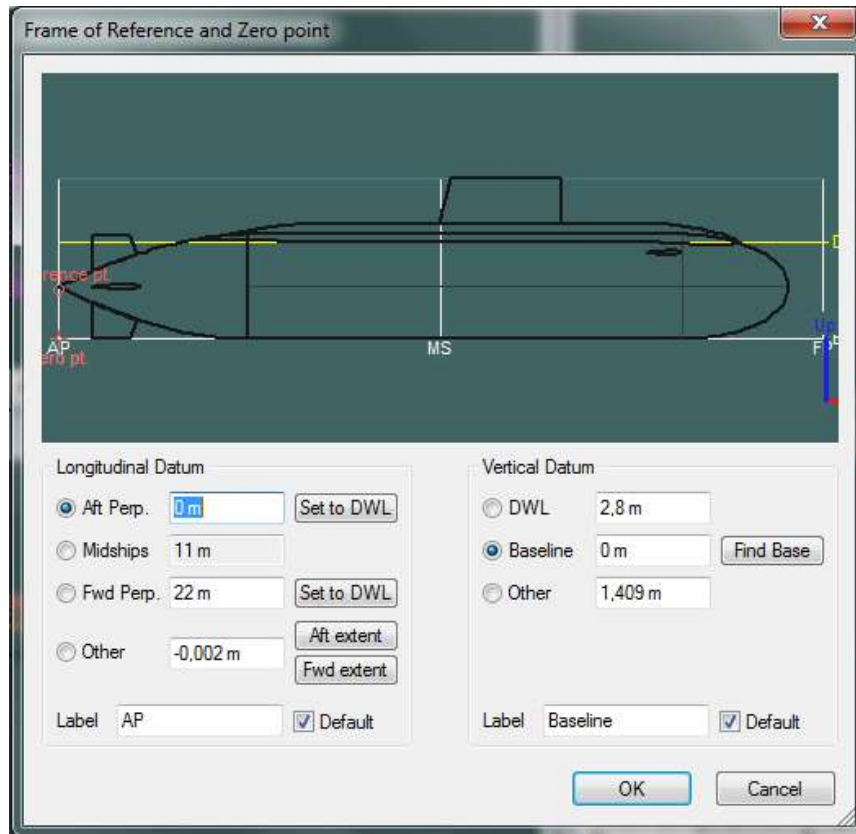
Menu Grid Spacing digunakan untuk menentukan jumlah dan jarak antar station, buttock lines, serta water lines dari model yang akan dibuat.

b. *Frame of Reference*

Menu ini digunakan untuk menentukan sarat (T) dari model yang dibuat serta letak titik After Perpendicular (AP) dan Fore Perpendicular (FP).

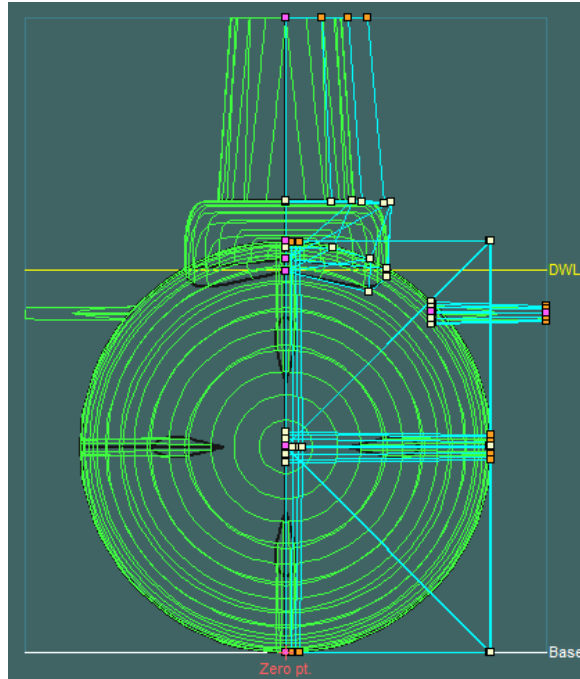
c. Zero Point

Zero Point digunakan untuk menentukan titik acuan (titik nol) yang digunakan. Titik acuan ini terdiri dari titik acuan secara melintang serta memanjang. Umumnya yang dijadikan titik acuan adalah titik AP serta perpotongan base line dengan centre line. Pengaturan *Zero Point* ini dilakukan pada menu *frame of references and zero point*.



Gambar IV-14. Menu Frame of References and Zero Point

Setelah pengaturan di atas selesai dilakukan maka akan didapatkan *lines plan* awal. *Lines plan* awal ini masih perlu dilakukan proses *editing* lebih lanjut dengan melakukan penggeseran secara manual control point yang ada sehingga didapatkan bentuk hull yang diinginkan. Selain penggeseran *control point*, perlu dilakukan juga penambahan *surface* untuk menambahkan bagian dari kapal selam yang belum ada. Penggeseran *control point* dan penambahan *surface* perlu dilakukan secara hati-hati, hal ini dikarenakan dapat mempengaruhi karakteristik Hidrostatik kapal. Pada Gambar IV-15 bawah ini menampilkan *control point* yang dimaksud. *Control point* ditampilkan dalam bentuk kotak kecil-kecil dengan warna putih dan ungu.



Gambar IV-15. Control Point

Setelah proses *editing control point* selesai dilakukan dan *lines plan* sudah sesuai dengan ukuran utama optimal maka langkah selanjutnya adalah melakukan pemeriksaan karakteristik hidrostatik dari kapal yang telah didesain. Karakteristik tersebut dapat dilihat pada menu *Hydrostatic at DWL*.

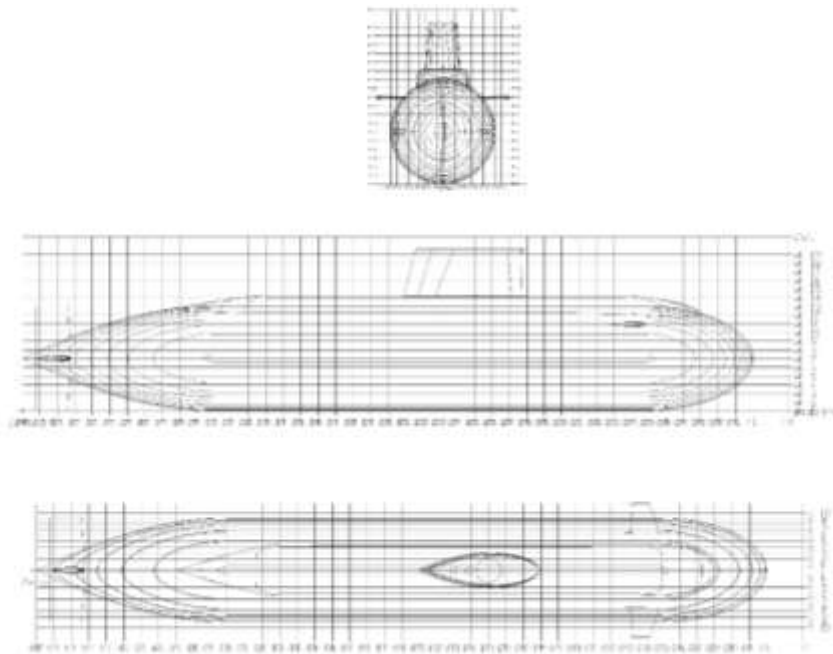
Hydrostatics at DWL			
	Measurement	Value	Units
1	Displacement	125.0	t
2	Volume (displaced)	121.979	m ³
3	Draft Amidships	3.095	m
4	Immersed depth	3.095	m
5	WL Length	0.000	m
6	Beam max extents on WL	0.000	m
7	Wetted Area	176.248	m ²
8	Max sect. area	7.066	m ²
9	Waterpl. Area	0.000	m ²
10	Prismatic coeff. (Cp)	0.000	
11	Block coeff. (Cb)	0.000	
12	Max Sect. area coeff. (C		
13	Waterpl. area coeff. (Cw	0.000	
14	LCB length	11.283	from zero
15	LCF length	37.084	from zero
16	LCB %	11.283	from zero
17	LCF %	37.084	from zero
18	KB	1.500	m
19	KG fluid	-0.005	m
20	BMT	0.000	m
21	BML	0.000	m
22	GMt corrected	1.505	m
23	GML	1.505	m
24	KMt	1.500	m
25	KML	1.500	m
26	Immersion (TPc)	0.000	tonne/cm
27	MTc	0.086	tonne.m
28	RM at 1deg = GMt.Disp.si	3.284	tonne.m

Density (water) 1.025 tonne/m³

Std. densities 1.025 tonne/m³ - Std. Metric sea water (1025.0 kg/m³)

Gambar IV-16. Pengecekan Karakteristik Hidrostatik

Pada Gambar IV-16 terlihat bahwa, displasemen yang di hasilkan dari desain kapal tersebut lebih besar sekitar 4.36 ton atau 3.61% dari yang seharusnya. Keadaan tersebut masih bisa ditolerir karena masih berada dalam batas toleransi 5%. Selanjutnya bila semua kondisi sudah dipenuhi, langkah selanjutnya adalah *export* gambar *body plan*, *sheer plan*, serta *half-breadth plan* ke *software* AutoCAD untuk dilakukan proses *editing* akhir serta pemberian keterangan gambar. Hasil *export lines plan* ke AutoCAD adalah seperti pada Gambar IV-17 di bawah ini.



Gambar IV-17. Lines Plan Midget Submarine

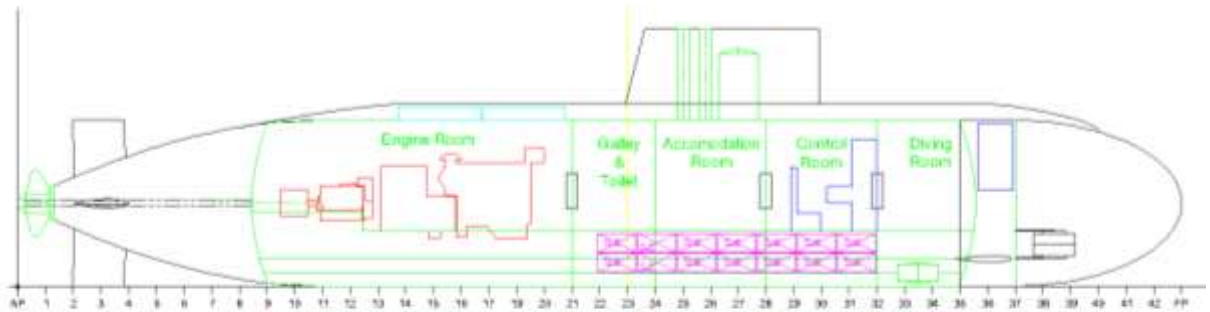
Hasil desain *Lines Plan* akhir bisa dilihat pada lampiran.

IV.8.2. Desain General Arrangement

Dari gambar *lines plan* yang sudah dihasilkan, maka dapat dibuat pula gambar *general arrangement* dari kapal *midget submarine* ini. *General arrangement* didefinisikan sebagai perencanaan ruangan yang dibutuhkan sesuai dengan fungsi dan perlengkapan kapal .

Pembuatan *general arrangement* dilakukan dengan bantuan *software* AutoCAD 2007. Hal-hal yang harus diperhatikan dalam pembuatan rencana umum *midget*

submarine ini adalah penataan geladak utama yang baik agar memberikan ruang yang cukup untuk akomodasi awak dan peralatannya. Kemudian hal yang harus dipertimbangkan juga adalah pembagian penempatan tangki pada kapal selam. Begitu pula peletakan peralatan juga harus diperhatikan agar sesuai dengan perhitungan titik berat kapal nantinya.

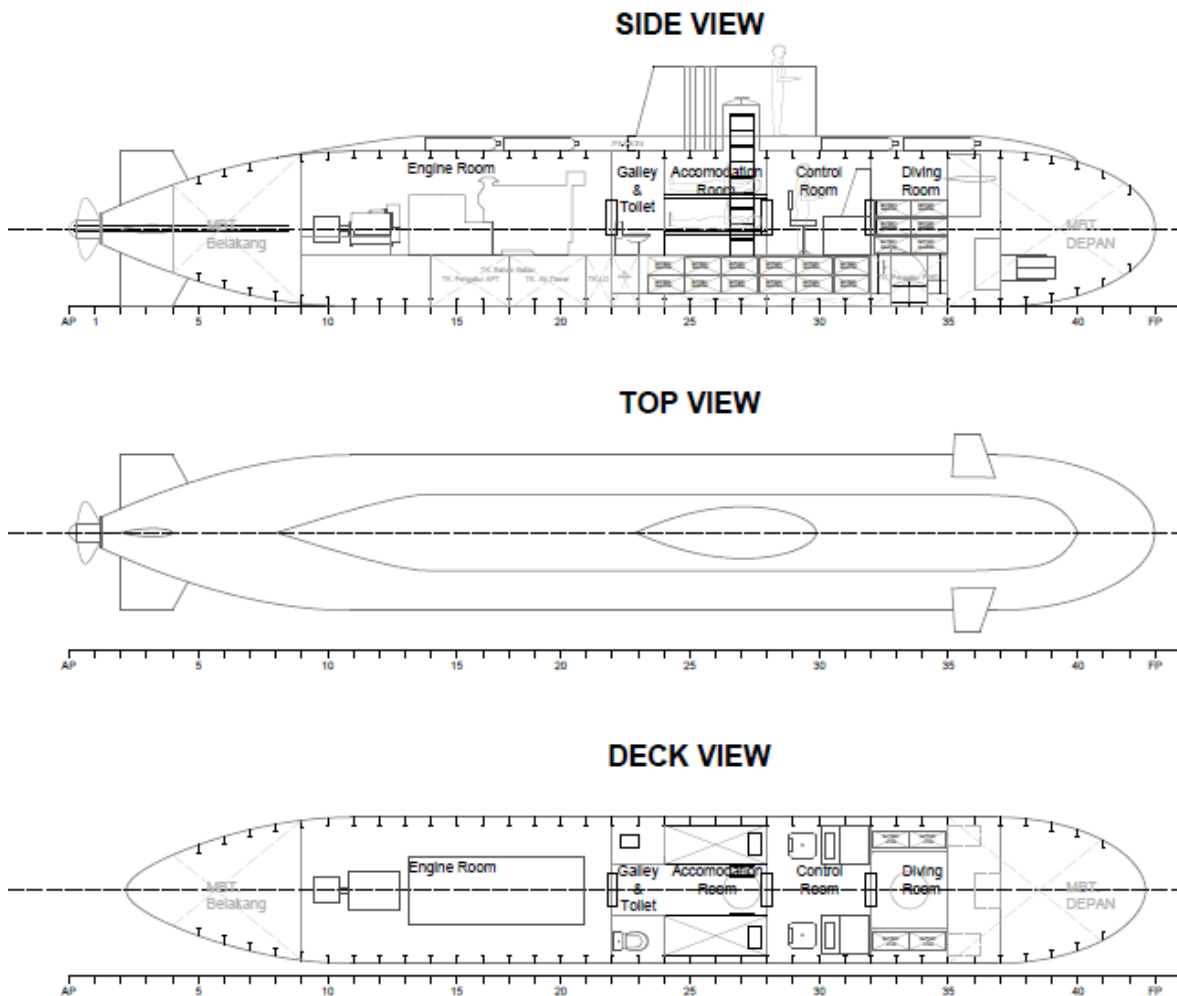


Gambar IV-18. Sketsa Awal Pembagian Ruang

Langkah pertama yang dilakukan adalah membuat sketsa pembagian ruang yang terdapat pada *pressure hull*. Ruang yang terdapat pada *pressure hull* antara lain adalah *Engine Room*, *Galley & Toilet*, *accomodation room*, *control room*, dan *diver room*. Pembuatan sket dilakukan dengan mempertimbangkan aspek volume kebutuhan ruang dan volume peralatan. Selain peralatan yang perlu diperhatikan juga adalah penempatan battery. Penempatan baterai harus diatur sedemikian rupa sehingga dapat menampung jumlah baterai yang dibutuhkan oleh kapal.

Penyusunan Rencana Umum merupakan suatu proses bertahap yang disusun dari percobaan, pengecekan, dan penambahan. Referensinya bisa didapat dari data Rencana Umum kapal-kapal pemanding yang memiliki spesifikasi tidak jauh berbeda dengan kapal yang sedang dirancang. Setelah semua langkah tersebut telah terpenuhi maka desain Rencana Umum dapat dibuat dan didetailkan sesuai dengan standar dan regulasi yang berlaku. Berikut dilampirkan potongan gambar Rencana Umum dari kapal selam yang di desain :

(detail rencana umum dapat dilihat pada lampiran)



Gambar IV-19. Rencana Umum *Midget Submarine*

IV.9. Pemeriksaan Hambatan

Pada tahap ini pemeriksaan hambatan akan dibagi menjadi 3 (tiga) bagian. Pembagian tersebut adalah perhitungan hambatan kondisi *submerged* menggunakan rumus Empiris, perhitungan hambatan kondisi meggggunakan rumus empiris, dan perhitungan hambatan kondisi submerged menggunakan metode CFD. Setelah itu akan diambil hambatan terbesar untuk dilakukan perhitungan BHP motor induk.

IV.9.1. Hambatan Kondisi *Submerged*

Perhitungan hambatan disini akan menggunakan rumus yang dijelaskan pada buku *Submersible Vehicle System Design*. Dan berikut adalah perhitungan dari

hambatan kapal selam saat kondisi submerged (detail perhitungan dapat dilihat pada lampiran).

$$R_T = R_{BH} + R_{APP}$$

- R_{BH} = bare hull resistance

$$R_{BH} = \frac{1}{2} \rho A V^2 C_t$$

ρ	=	mass density of the operating fluid
	=	1025 kg/m ³
	=	63.989 lb/ft ³
A	=	reference area of the submerible (wetted area)
	=	171.248 m ²
	=	1843.296 ft ²
V	=	Velocity of the submersibles, ft/s
	=	9 knot
	=	15.190 ft/s
C_t	=	non dimensional drag coefficient
	=	$C_f + \Delta C_f + C_r + C_w$
	=	1.044E-03

Sehingga, didapatkan nilai hambatan kapal kosong adalah : 14.202 kN

- Resistance of appendages

$$R_{APP} = \frac{1}{2} \rho A V^2 C_t$$

A	=	Appendages wetted area dari data maxsurf
V	=	15.190 ft/s
C_t	=	drag coefficient for the appendages
	=	0.0036 (based on frontal area)

Selanjutnya perhitungan hambatan appendages akan ditabulasikan berdasarkan masing-masing appendages yang ada pada kapal selam. Pada Tabel IV-6 dapat dilihat hambatan dari masing-masing *appendages* pada kapal selam.

Tabel IV-6. Hambatan Appendages Saat Submerged

No	Part	A (m2)	A (ft2)	Ct	R app (N)
1	Rudder Top	2.929	31.527	0.0036	76.838
2	Rudder Bottom	2.929	31.527	0.0036	76.838
3	Aft Planes-Top	2.924	31.474	0.0036	76.707
4	Aft Planes-Bot	2.919	31.420	0.0036	76.576
5	Fin	9.576	103.075	0.0036	251.213
6	Fwd Plane-Up	1.403	15.102	0.0036	36.806
7	Fwd Plane-Low	1.409	15.166	0.0036	36.963
8	Rudder Top End	0.085	0.915	0.0036	2.230
9	Rudder Bot End	0.085	0.915	0.0036	2.230
10	Aft Planes - End	0.165	1.776	0.0036	4.329
11	Fwd Planes End	0.075	0.807	0.0036	1.968
12	Deck	32.145	346.006	0.0036	843.279
				Σ	1485.976

Sehingga didapatkan nilai hambatan *appendages* totalnya adalah 1.486 kN

Maka Hambatan total dari kapal selam saat kondisi *submerged* adalah 15.588 kN

IV.9.2. Hambatan Kondisi *Surfaced*

Persamaan yang digunakan saat menghitung hambatan kondisi surface tidak berbeda dengan persamaan saat kondisi *submerged*. Pada kondisi submerged nilai C_w adalah nol, dikarenakan tidak ada koefisien gelombang yang mempengaruhi saat kapal menyelam. Namun pada kondisi *surface*, terdapat pengaruh koefisien gelombang. Perhitungan C_w dengan perhitungan dengan menggunakan rumus koefisien gelombang pada Holtrop dimana $C_w = R_w$.

$$\frac{R_w}{W} = C_1 \cdot C_2 \cdot C_3 \cdot e^{\left\{ m_1 \cdot F_n^d + m_2 \cos(\lambda F_n^{-2}) \right\}}$$

(Lewis, 1988)

Proses perhitungan nilai R_w dapat dilihat pada lampiran. Hasil dari proses perhitungan koefisien hambatan gelombang tersebut menghasilkan nilai $R_w = C_w = 0.002$

Selanjutnya koefisien nilai tersebut di masukkan kedalam perhitungan hambatan sebagai berikut.

- R_{BH} = bare hull resistance

$$R_{BH} = \frac{1}{2} \rho A V^2 C_t$$

ρ	=	mass density of the operating fluid
	=	1025 kg/m ³
	=	63.989 lb/ft ³
A	=	reference area of the submerible (wetted area)
	=	147.199 m ²
	=	1584.435 ft ²
V	=	Velocity of the submersibles, ft/s
	=	9 knot
	=	15.190 ft/s
C_t	=	non dimensional drag coefficient
	=	$C_f + \Delta C_f + C_r + C_w$
	=	1.E-03

Sehingga, didapatkan nilai hambatan kapal kosong adalah : 14.522 kN

- Resistance of appendages

$$R_{APP} = \frac{1}{2} \rho A V^2 C_t$$

A	=	Appendages wetted area dari data maxsurf
V	=	15.190 ft/s
C_t	=	drag coefficient for the appendages
	=	0.0036 (based on frontal area)

Selanjutnya perhitungan hambatan appendages akan ditabulasikan berdasarkan masing-masing appendages yang ada pada kapal selam. Pada saat kondisi surfaced ada beberapa *appendages* yang tidak terkena air sehingga appendages tersebut dapat diabaikan.

Tabel IV-7. Hambatan appendages saat Surfaced

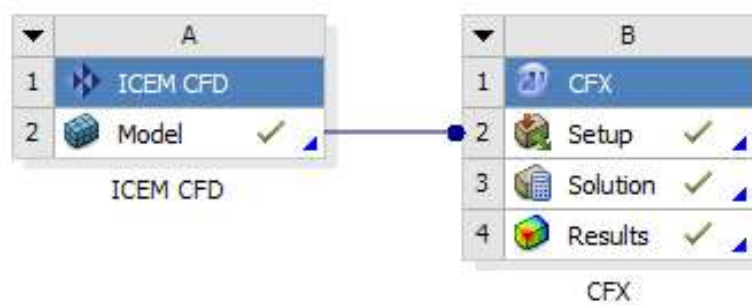
No	Part	A (m2)	A (ft2)	Ct	R app
1	Rudder Top	2.929	31.527	0.0036	76.838
2	Rudder Bottom	2.929	31.527	0.0036	76.838
3	Aft Planes-Top	2.924	31.474	0.0036	76.707
4	Aft Planes-Bot	2.919	31.420	0.0036	76.576
6	Fwd Plane-Up	1.403	15.102	0.0036	36.806
7	Fwd Plane-Low	1.409	15.166	0.0036	36.963
8	Rudder Top End	0.085	0.915	0.0036	2.230
9	Rudder Bot End	0.085	0.915	0.0036	2.230
10	Aft Planes - End	0.165	1.776	0.0036	4.329
11	Fwd Planes End	0.075	0.807	0.0036	1.968
				Σ	391.484

Sehingga didapatkan nilai hambatan *appendages* totalnya adalah 0.391 kN

Maka Hambatan total dari kapal selam saat kondisi *submerged* adalah 14.994 kN

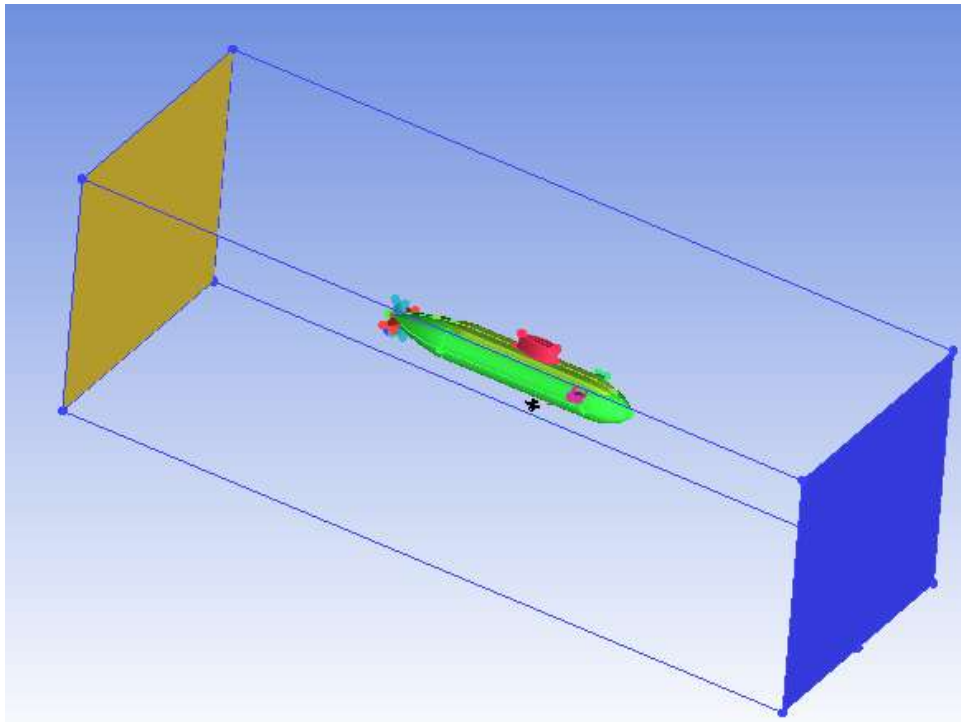
IV.9.3. Hambatan Menggunakan Simulasi CFD

Perhitungan menggunakan *computational fluid dynamics* ini dilakukan pada kondisi *submerged* saja. Perhitungan pada saat *surfaced* tidak dilakukan karena sudah diketahui bahwa hambatan yang terbesar adalah pada kondisi *submerged*. Simulasi analisa hambatan yang terjadi terhadap lambung kapal selam ini dilakukan dengan *software* ANSYS Workbench 16.0 CFX. Skema dari simulasi yang dilakukan untuk analisa hambatan fluida yang terjadi terhadap lambung kapal saat kecepatan operasi maksimal dapat dilihat dibawah ini.



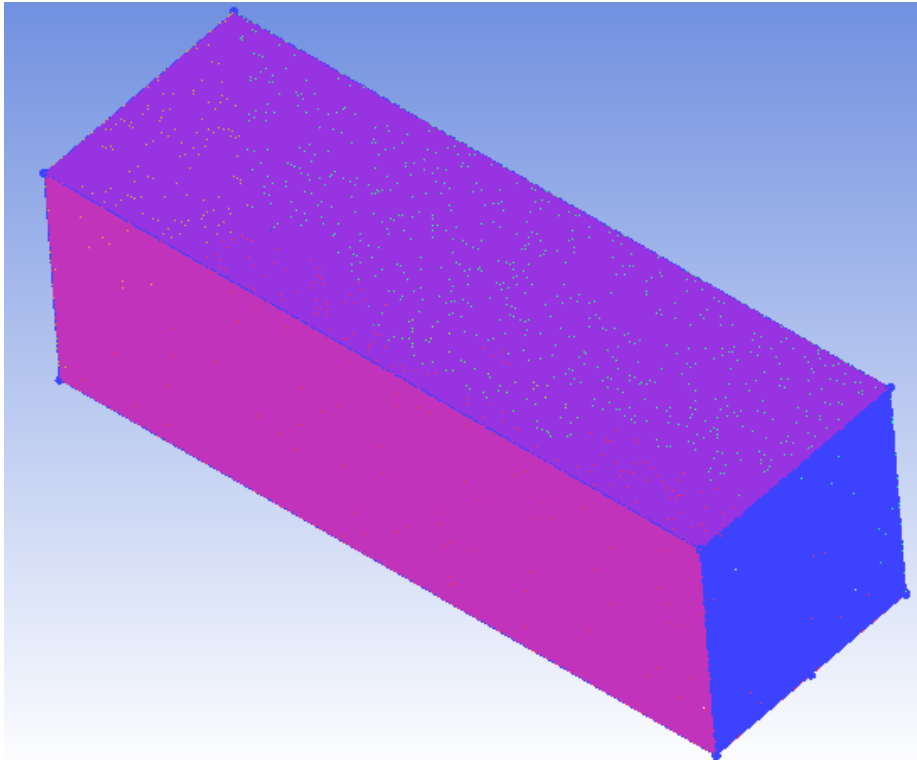
Gambar IV-20. Project Schematic pada ANSYS Workbench

Pada tahap awal, desain 3D dari *hullform* dalam format kapal pada Maxsurf Modeller di-*export* menjadi format '.igs' agar dapat dibaca oleh ICEM CFD. File tersebut nantinya akan dibagi menjadi elemen kedalam bentuk yang lebih kecil atau biasa disebut dengan *meshing*. Didalam ICEM CFD file tersebut di-*import* untuk kemudian dilakukan pembuatan *domain* yang terdiri dari: *inlet*, *oulet*, *wall*, *top*, dan *bottom*. *Domain-domain* tersebut berbentuk persegi panjang yang diberi *surface* dan membentuk balok yang mengelilingi model kapal. Pembuatan *domain-domain* tersebut dapat dilihat pada Gambar IV-21 di bawah ini.



Gambar IV-21. Pemeberian Domain Komputasi (inlet & outlet)

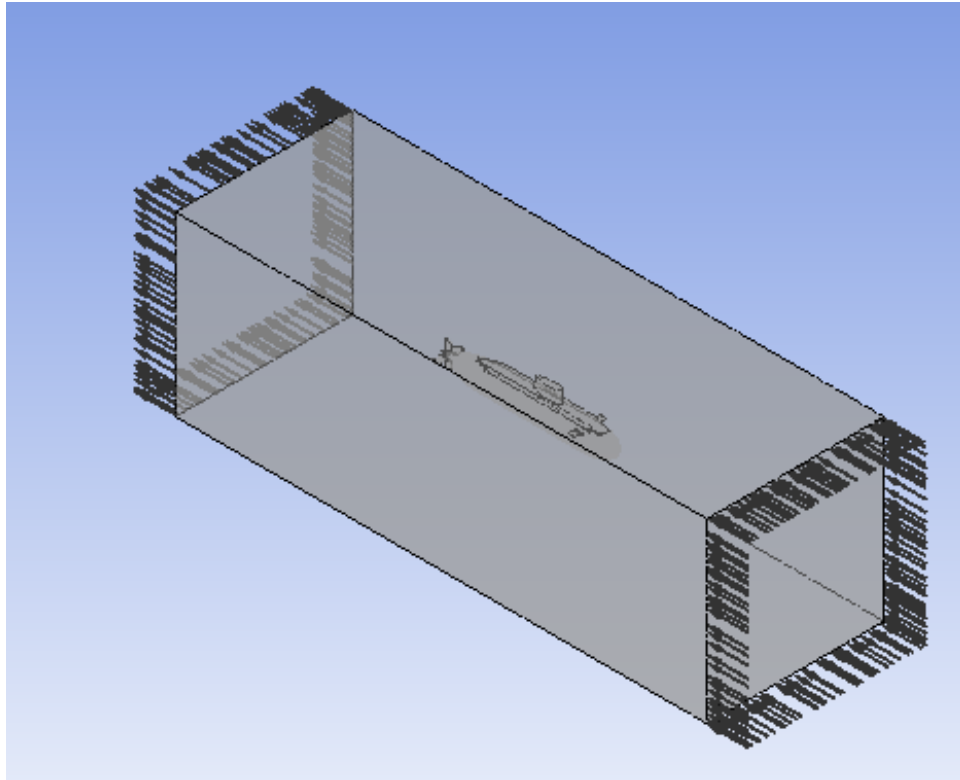
Setelah pembuatan domain, selanjutnya akan dilakukan *meshing*. Pada tahap ini ukuran *meshing* ditentukan dengan perbandingan antara model dengan domain. Durasi lamanya proses *meshing* bergantung pada ukuran *meshing* dan jumlah elemen yang dihasilkan. Semakin kecil ukuran *meshing* dan semakin banyak jumlah elemennya, maka akan semakin lama pula durasi proses *meshing*. Dan berikut adalah hasil *meshing* yang telah dilakukan.



Gambar IV-22. Hasil Proses Meshing

Tahap berikutnya setelah model 3D di-*meshing* adalah tahap Pre Processor. Model yang telah di-*meshing* kemudian di-*import* untuk diatur kondisi batas (*boundary conditions*) yang sesuai untuk simulasi permukaan bebas (*free surface*). Simulasi *free surface* lebih sensitif terhadap *boundary* dan *setting* perkiraan awal yang tidak benar daripada model-model *basic* lainnya.

Pada tahap ini dilakukan pendefinisian batas (*boundary*) seperti yang telah dijelaskan pada bab sebelumnya. Pada batas *inlet* dimasukkan kecepatan kapal dan pada batas *outlet* di-*setting* “Static Pressure” (tekanan outlet dianggap statis). Batas *wall* di-*setting* “Free Slip” yang berarti dianggap tidak ada gesekan (fluida bebas bergerak). Batas *top* didefinisikan sebagai “Opening” atau dinding terbuka yang artinya tidak ada pengaruh tekanan dari mana pun. Batas *bottom*, sama seperti halnya model, didefinisikan “No Slip” yang artinya tidak terjadi slip (Ahadyanti, 2014). Pada Gambar IV-23 terlihat hasil dari proses pendefinisian.



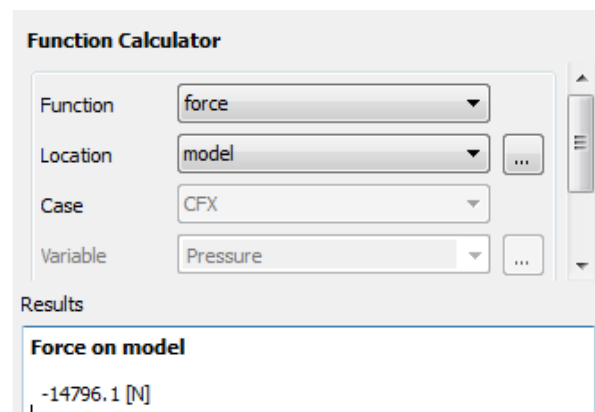
Gambar IV-23. Hasil Pendefinisian Bata (*Boundary*)

Setelah proses pendefinisian selesai, dilakukanlah tahap *solver* dengan melakukan *running* program. Proses *running* ini digambarkan dengan sebuah grafik, dengan sumbu x menunjukkan *acumulated time step* sesuai dengan nilai iterasi yang kita masukkan dan sumbu y menunjukkan *variable value* (nilai konvergensi) dengan nilai 1 sampai 10^{-6} yang ditentukan pada saat tahap pre-processor dan berdasarkan penelitian sebelumnya pada simulasi ini ditentukan batas *variable value* adalah 10^{-5} . Proses *running* pada tahap *solver* ini dapat dilihat pada gambar dibawah ini.



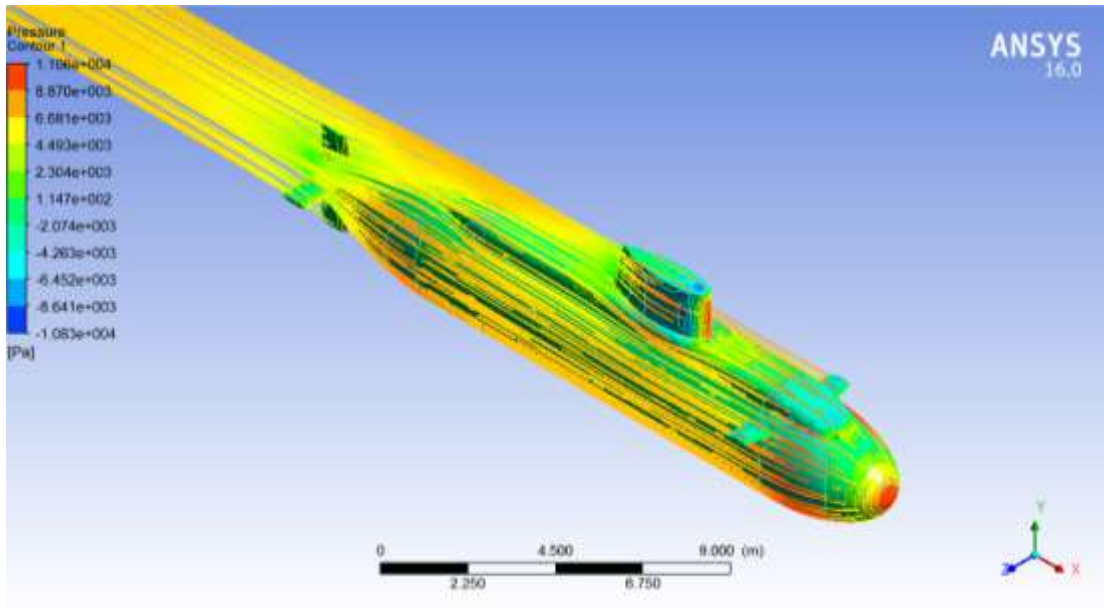
Gambar IV-24. Proses Running Pada Tahap Solver

Setelah model selesai di-*running*, selanjutnya adalah tahap *Post Processor*. Pada tahap ini hambatan yang ingin diketahui pada masing-masing kecepatan dapat diketahui. Buka hasil proses *running* yang sudah selesai melalui CFD Post, kemudian pilih tab “Calculators” diikuti dengan “Function Calculator”. Pada fitur “Function Calculator” hambatan yang terjadi pada model dapat diketahui baik hambatan pada arah X, Y, maupun Z.



Gambar IV-25. Fitur Function Calculator

Pada tahap ini juga dapat ditunjukkan aliran fluida di sekitar model kapal.

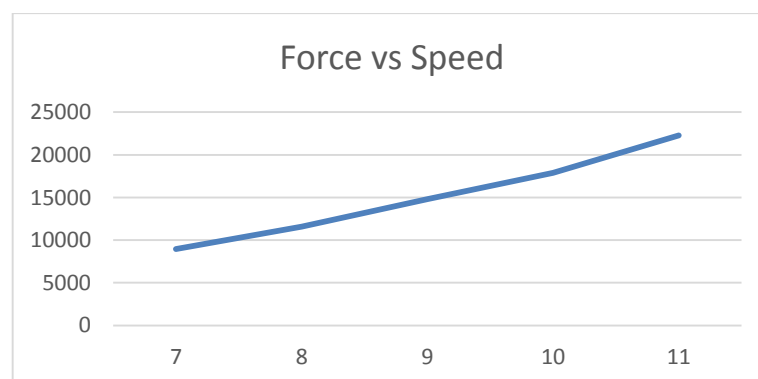


Gambar IV-26. Aliran Fluida yang terjadi di sekitar kapal selam

Simulasi hambatan CFD ini dilakukan dengan 5 macam kecepatan, yaitu 2 kecepatan dibawah kecepatan dinas dan 2 kecepatan diatas kecepatan dinas. Nilai Hambatan didapatkan dari function calculator. Dibawah ini ditunjukkan perbandingan kecepatan dengan hambatan dan juga grafiknya.

Tabel IV-8. Kecepatan dengan Hambatan Hasil Simulasi

Speed (Knot)	Force (Newton)
7	8971.69
8	11589.8
9	14796.1
10	17897.9
11	22262.6



Gambar IV-27. Grafik Perbandingan antara kecepatan dengan Hambatan.

IV.9.4. Perhitungan BHP

Dari hasil Perhitungan hambatan dan simulasi CFD yang dilakukan, selanjutnya diambil hambatan yang paling besar. Dari ketiga perhitungan tersebut dapat diambil hambatan yang terbesar pada perhitungan empiris saat kondisi *submerged*, dengan nilai hambatan 15.688 kN. Pada tahap ini akan dilakukan pemeriksaan pemilihan daya motor elektrik yang sudah dilakukan sebelumnya apakah udah memenuhi kebutuhan berdasarkan perhitungan hambatan.

- Effective Horse Power (EHP)

$$\text{EHP} = R_T \cdot V_s$$

$$\text{EHP} = 247.306 \text{ HP}$$

- PC (propulsive coefficient)

$$PC = \eta_H \eta_R \eta_O \eta_N$$

$$PC = 0.676$$

- Shaft Horse Power (SHP)

$$\text{SHP} = \text{EHP} / PC$$

$$= 365.365 \text{ HP}$$

- Brake Horse Power (BHP)

$$\text{BHP} = \text{SHP} / \eta_t$$

$$= 374.657 \text{ HP}$$

$$= 275.560 \text{ kW}$$

Dari hasil perhitungan nilai BHP tersebut dapat disimpulkan bahwa hasil perhitungan estimasi Motor Elektrik pada tahap awal sudah memenuhi. Hal ini disimpulkan dari nilai BHP hasil perhitungan Empiris adalah 275.560 kW sedangkan hasil perhitungan estimasi adalah 343.760 kW dengan pemilihan motor elektrik 350 kW. Hasil perhitungan tersebut sangat memadai untuk operasional kapal selam ini.

Tabel IV-9. Hambatan Kapal Selam

Item	Nilai(kW)
Motor Powering	343.755
BHP	275.560
Keterangan	Nilai
Motor Powering \geq BHP	Memenuhi

IV.10. Perhitungan Berat Kapal Selam

Seperti yang dijelaskan pada bab sebelumnya, perhitungan berat pada kapal selam dibagi atas beberapa bagian utama, yaitu:

- Berat *Pressure Hull* dan *Equistrong*
- Berat *Light Hull*
- Berat Sistem Pada Lambung
- Berat Sistem Pembangkit Daya
- Berat Kru & Konsumsi, *Solid Ballast*, dan *Displacement Margin*

IV.10.1. Berat Pressure Hull dan Equistrong

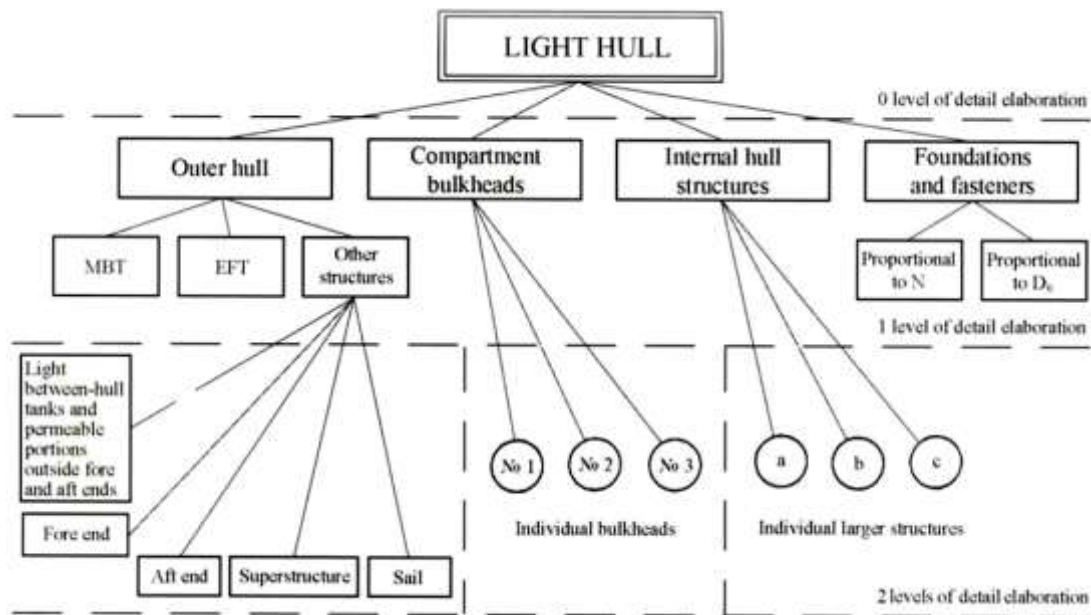
Berat *Pressure Hull* (PH) sangat bergantung pada *design pressure* (kedalaman penyelaman), sifat-sifat geometris, *physical* dan *mechanical properties* dari material. Selain itu, berat PH juga bergantung pada tipe struktur yang dipakai, yakni pada *framing system* (internal atau eksternal), jarak antar *frame*, serta peraturan dan prosedur yang digunakan dalam analisis kekuatan material (Ibaddurahman, 2015). Berikut adalah hasil rekapitulasi dari berat pressure hull.

Tabel IV-10. Berat Pressure Hull & Equistrong

Simbol	Nama	Berat (ton)
P _{PH}	Pressure Hull	11.491
P _{ENB}	Sekat Paling Ujung	1.674
P _{EGT}	Tangki Bertenakan	1.200
$\sum P_{PH\&EQ} =$		14.365

IV.10.2. Berat Light Hull

Light hull (LH) terdiri dari berbagai material dengan jenis yang berbeda, fungsi yang berbeda, dan desain yang berbeda. Gambaran komponen-komponen LH untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar dibawah ini.



Gambar IV-28. Komponen-komponen pada LH
(Kormiltsin & Khalizef, 2001)

Pada Tabel IV-11 dapat dilihat hasil rekapitulasi berat pada *midget submarine*. Detail perhitungan dapat dilihat pada lampiran.

Tabel IV-11. Berat Light Hull

Simbol	Item	M (ton)
P_{MBT}	MBT Aft	1.700
P_{MBT}	MBT Fwd	1.133
P_{FE}	Haluan	14.058
P_{AFE}	Buritan	16.574
P_{SST}	Deck	2.488
P_{SAIL}	Sail	1.479
$P_{V.Rudder}$	V. Rudder	5.425
$P_{F.Hydroplanes}$	F. Hydroplane	4.331
$P_{A.Hydroplanes}$	A. Hydroplane	4.721
P_{BHD}	Bulkhead	5.822
P_{IH}	Struktur Intrn	4.658
$\Sigma P_{LH} =$		62.388

IV.10.3. Berat Sistem Pada Lambung

Pada tahap ini dilakukan perhitungan terhadap sistem-sistem yang bekerja pada kapal selam. Sistem-sistem tersebut digunakan untuk menjalankan kapal selam sesuai fungsinya dengan baik. Berat pada sistem tersebut tergantung pada ukuran dari *pressure hull* yang digunakan. Dan berikut adalah rekapitulasinya:

Tabel IV-12. Berat Sistem Pada Lambung

Simbol	Item	M (ton)
P _{SG}	Steering Gear	1.810
P _{AGS}	Air & Gas Sys	2.654
P _{HS}	Life Sup Sys	2.413
P _{WS}	Water System	1.086
P _{DS}	Diving System	0.362
P _{HS}	Hydraulic Sys	0.483
$\sum P_{GS} =$		8.807

IV.10.4. Berat Sistem Pembangkit Daya

Dalam perhitungan sistem pembangkit daya, dimasukkan juga nilai berat dari beberapa perlengkapan yang telah ditentukan sebelumnya. Beberapa perlengkapan lainnya dijadikan satu dengan perhitungan estimasi berat. Berikut adalah rekapitulasinya:

Tabel IV-13. Berat Sistem Pembangkit Daya

Simbol	Item	M (ton)
P _{DG}	Genset	4.327
P _{EPM}	Electric Prop	0.733
P _{SH}	Shafting	1.400
P _{SB}	Battery	5.600
P _{FO}	Fuel Oil	2.970
P _{LO}	Lub Oil	1.084
P _{EEG}	Elektrik-Kabel	7.239
$\sum P_{PP} + P_{EEG} =$		23.353

IV.10.5. Berat Kru & Konsumsi, *Solid Ballast*, dan *Displacement Margin*

Selanjutnya dilakukan perhitungan terhadap jumlah berat dari personil dan juga konsumsi yang dibutuhkan. Pada tahap ini juga dihitung estimasi kebutuhan *solid ballast* dan *displacement margin* pada kapal selam. Berikut adalah rekapitulasi beratnya.

Tabel IV-14. Berat Kru & Konsumsi, Solid ballast dan Displacement Margin.

Simbol	Item	M (ton)
P_{SCR}	Personil-Cons	1.040
P_{BAL}	Solid Ballast	4.826
P_{DM}	Disp Margin	3.619
$\Sigma P_{OTH} =$		9.485

IV.10.6. Total Berat Rancangan Kapal Selam

Setelah semua komponen berat terhitung maka, selanjutnya komponen berat tersebut ditotal secara keseluruhan untuk mengetahui berat kapal selam yang terhitung. Berikut adalah berat dari masing-masing komponen dari kapal selam.

$$P_{PH\&EQ} = 15.714 \text{ ton}$$

$$P_{LH} = 62.388 \text{ ton}$$

$$P_{GS} = 8.807 \text{ ton}$$

$$P_{PP} = 16.114 \text{ ton}$$

$$P_{EEG} = 7.239 \text{ ton}$$

$$P_{OTH} = 9.485 \text{ ton}$$

$$\Sigma P_i = \text{berat total kapal rancangan}$$

$$= 119.747 \text{ ton}$$

Setelah semua komponen dijumlah, selanjutnya dibandingkan hasil jumlah perhitungan berat terhadap displasemen normal yang telah dihitung pada tahap awal. Dari hasil perhitungan berat total kapal rancangan, disarankan perbedaan koreksi tidak lebih besar dari 1% dibandingkan dengan estimasi awal (Ibaddurahman, 2015).

$$D_0 = 120.645 \text{ ton}$$

$$\Sigma P_i = 119.747 \text{ ton}$$

$$\begin{aligned}\text{koreksi berat} &= (\sum P_i - D_0) / \sum P_i \times 100\% \\ &= 0.75\%\end{aligned}$$

Dari hasil perhitungan berat total kapal rancangan, didapatkan perbedaan koreksi tidak lebih besar dari 1% dibandingkan dengan estimasi awal. Sehingga, perhitungan berat kapal selama ini bisa dikatakan memenuhi.

Tabel IV-15. Kriteria Berat Kapal

Item	Nilai	Satuan
D ₀	120.645	ton
$\sum P_i$	119.747	ton
Koreksi berat	0.75 %	-
Kriteria	Nilai	-
Koreksi Berat ≤ 1 %	Memenuhi	-

IV.11. Perhitungan Titik Berat Kapal Selam

IV.11.1. Titik Berat Pressure Hull & Equistrong

Item	KG (m)	M (ton)	KG x M	LCG (m)	M (ton)	LCG x M
Pressure Hull	1.500	15.714	23.570	10.750	15.714	168.921

$$KG = \frac{\sum KG \times M}{\sum M}$$

$$KG = 1.500 \text{ m (dari baseline)}$$

$$LCG = \frac{\sum LCG \times M}{\sum M}$$

$$LCG = 10.750 \text{ m (dari AP)}$$

IV.11.2. Titik Berat Light Hull

Tabel IV-16. Rekap Titik Berat Light Hull

Item	KG (m)	M (ton)	KG x M	LCG (m)	M (ton)	LCG x M
MBT Aft	0.900	1.700	1.530	3.000	1.700	5.101
MBT Fwd	0.900	1.133	1.020	19.000	1.133	21.536
Haluan	1.500	14.058	21.087	19.000	14.058	267.097
Buritan	1.500	16.574	24.861	5.000	16.574	82.871
Deck	3.150	2.488	7.837	15.725	2.488	39.123
Sail	3.872	1.479	5.727	13.333	1.479	19.722
V. Rudder	1.500	5.425	8.138	1.570	5.425	8.518
F. Hydroplane	0.443	4.331	1.917	17.600	4.331	76.217
A. Hydroplane	1.495	4.721	7.058	1.594	4.721	7.525
Bulkhead	1.500	5.822	8.732	12.750	5.822	74.225
Struktur Intrn	0.750	4.658	3.493	14.000	4.658	65.207
		62.388	91.401		62.388	667.141

$$KG = \frac{\sum KG \times M}{\sum M}$$

$$KG = 1.465 \text{ m (dari baseline)}$$

$$LCG = \frac{\sum LCG \times M}{\sum M}$$

$$LCG = 10.693 \text{ m (dari AP)}$$

IV.11.3. Titik Berat Sistem Pada Lambung

Tabel IV-17. Titik Berat Sistem Pada Lambung

Item	KG (m)	M (ton)	KG x M	LCG (m)	M (ton)	LCG x M
Steering Gear	1.500	1.810	2.715	2.138	1.810	3.869
Air & Gas Sys	3.120	2.654	8.281	16.000	2.654	42.467
Life Sup Sys	1.667	2.413	4.021	10.750	2.413	25.939
Water System	0.667	1.086	0.724	9.750	1.086	10.587
Diving System	0.667	0.362	0.241	9.250	0.362	3.348
Hydraulic Sys	0.667	0.483	0.322	8.750	0.483	4.223
		8.807	16.304		8.807	90.432

$$KG = \frac{\sum KG \times M}{\sum M}$$

$$KG = 1.851 \text{ m (dari baseline)}$$

$$LCG = \frac{\sum LCG \times M}{\sum M}$$

$$LCG = 10.268 \text{ m (dari AP)}$$

IV.11.4. Titik Berat Sistem Pembangkit Daya

Tabel IV-18. Titik Berat Sistem Pembangkit Daya

Item	KG (m)	M (ton)	KG x M	LCG (m)	M (ton)	LCG x M
Genset	1.545	4.327	6.683	9.162	4.327	39.644
Electric Prop	1.677	0.733	1.229	4.982	0.733	3.652
Shafting	1.500	1.400	2.100	2.650	1.400	3.710
Battery	0.717	5.600	4.013	14.500	5.600	81.200
Fuel Oil	0.667	2.970	1.980	17.500	2.970	51.975
Lub Oil	0.667	1.084	0.723	10.250	1.084	11.114
Elektrik-Kabel	1.800	7.239	13.030	11.200	7.239	81.073
		23.353	29.758		23.353	272.368

$$KG = \frac{\sum KG \times M}{\sum M}$$

$$KG = 1.274 \text{ m (dari baseline)}$$

$$LCG = \frac{\sum LCG \times M}{\sum M}$$

$$LCG = 11.663 \text{ m (dari AP)}$$

IV.11.5. Titik Berat Kru & Konsumsi, Solid Ballast, dan Displasement Margin

Tabel IV-19. Titik berat Kru & Konsumsi, Solid Ballast, dan Displasement Margin

Item	KG (m)	M (ton)	KG x M	LCG (m)	M (ton)	LCG x M
Personil-Cons	1.950	1.040	2.028	12.500	1.040	13.000
Solid Ballast	0.167	4.826	0.804	20.000	4.826	96.516
Disp Margin	1.500	3.619	5.429	11.272	3.619	40.797
		9.485	8.261		9.485	150.313

$$KG = \frac{\sum KG \times M}{\sum M}$$

$$KG = 0.871 \text{ m (dari baseline)}$$

$$LCG = \frac{\sum LCG \times M}{\sum M}$$

$$LCG = 15.847 \text{ m (dari AP)}$$

IV.11.6. Titik Berat Total

Tabel IV-20. Rekap Titik Berat Total

No	Item	KG (m)	M (ton)	KG x M	LCG (m)	M (ton)	LCG x M
1	Pressure Hull	1.500	15.714	23.570	11.250	15.714	176.778
2	MBT Aft	0.900	1.700	1.530	3.000	1.700	5.101
3	MBT Fwd	0.900	1.133	1.020	19.000	1.133	21.536
4	Haluan	1.500	14.058	21.087	19.000	14.058	267.097
5	Buritan	1.500	16.574	24.861	5.000	16.574	82.871
6	Deck	3.150	2.488	7.837	15.725	2.488	39.123
7	Sail	3.872	1.479	5.727	13.333	1.479	19.722
8	V. Rudder	1.500	5.425	8.138	1.570	5.425	8.518
9	F. Hydroplane	0.443	4.331	1.917	17.600	4.331	76.217
10	A. Hydroplane	1.495	4.721	7.058	1.594	4.721	7.525
11	Bulkhead	1.500	5.822	8.732	12.750	5.822	74.225
12	Struktur Intrn	0.750	4.658	3.493	14.000	4.658	65.207
13	Steering Gear	1.500	1.810	2.715	2.138	1.810	3.869
14	Air & Gas Sys	3.120	2.654	8.281	16.000	2.654	42.467
15	Life Sup Sys	1.667	2.413	4.021	10.750	2.413	25.939
16	Water System	0.667	1.086	0.724	9.750	1.086	10.587
17	Diving System	0.667	0.362	0.241	9.250	0.362	3.348
18	Hydraulic Sys	0.667	0.483	0.322	8.750	0.483	4.223
19	Genset	1.545	4.327	6.683	9.162	4.327	39.644
20	Electric Prop	1.677	0.733	1.229	4.982	0.733	3.652
21	Shafting	1.500	1.400	2.100	2.650	1.400	3.710
22	Battery	0.717	5.600	4.013	14.5	5.600	81.200
23	Fuel Oil	0.667	2.97	1.980	17.5	2.970	51.975
24	Lub Oil	0.667	1.084	0.723	10.25	1.084	11.114
25	Elektrik-Kabel	1.800	7.239	13.030	11.2	7.239	81.073
26	Personil-Cons	1.95	1.04	2.028	12.5	1.040	13.000
27	Solid Ballast	0.167	4.826	0.804	20	4.826	96.516
28	Disp Margin	1.5	3.619339	5.429	11.272	3.619	40.797
			119.747	169.295		119.747	1357.031

$$KG = \frac{\sum KG \times M}{\sum M}$$

$$KG = 1.414 \text{ m (dari baseline)}$$

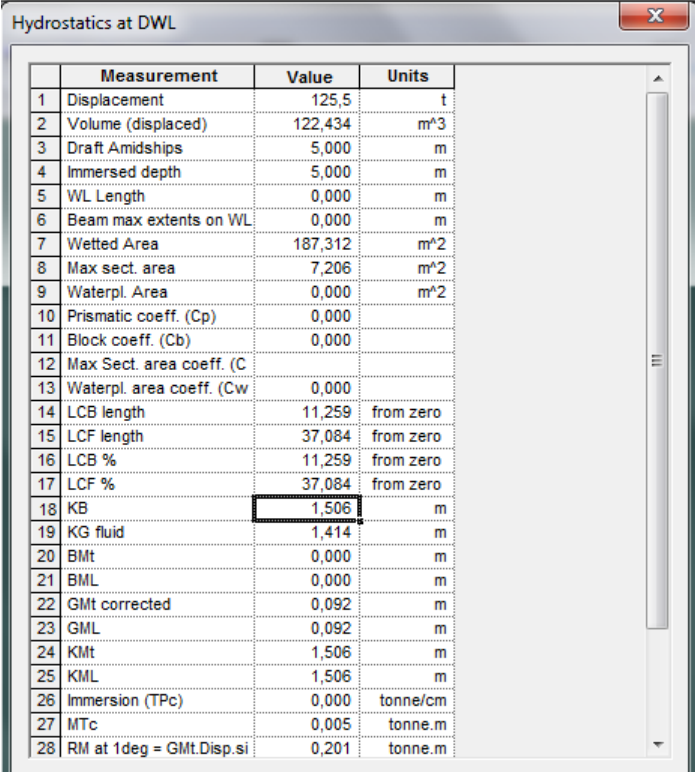
$$LCG = \frac{\sum LCG \times M}{\sum M}$$

$$LCG = 11.332 \text{ m (dari AP)}$$

IV.12. Stabilitas Kapal Selam

IV.12.1. Stabilitas Kondisi *Submerged*

Dalam menghitung stabilitas dari kapal selam saat kondisi *submerged*, dibutuhkan nilai KG dan KB. Nilai tersebut digubakan untuk mengetahui nilai dari lengan GZ yang digunakan untuk memprediksi stabilitas kapal pada saat menyelam. Nilai KG didapatkan dari perhitungan titik berat pada tahap IV.10 yang didapatkan bahwa nilai KG = 1.414 m dari baseline. Sedangkan nilai KB didapatkan dari pemeriksaan Hidrostatik pada Maxsurf Modeller seperti yang terlihat pada Gambar IV-29 dibawah ini.



	Measurement	Value	Units
1	Displacement	125,5	t
2	Volume (displaced)	122,434	m³
3	Draft Amidships	5,000	m
4	Immersed depth	5,000	m
5	WL Length	0,000	m
6	Beam max extents on WL	0,000	m
7	Wetted Area	187,312	m²
8	Max sect. area	7,206	m²
9	Waterpl. Area	0,000	m²
10	Prismatic coeff. (Cp)	0,000	
11	Block coeff. (Cb)	0,000	
12	Max Sect. area coeff. (C)		
13	Waterpl. area coeff. (Cw)	0,000	
14	LCB length	11,259	from zero
15	LCF length	37,084	from zero
16	LCB %	11,259	from zero
17	LCF %	37,084	from zero
18	KB	1,506	m
19	KG fluid	1,414	m
20	BMT	0,000	m
21	BML	0,000	m
22	GMT corrected	0,092	m
23	GML	0,092	m
24	KMT	1,506	m
25	KML	1,506	m
26	Immersion (TPc)	0,000	tonne/cm
27	MTc	0,005	tonne.m
28	RM at 1deg = GMT Disp. si	0,201	tonne.m

Gambar IV-29. Pemeriksaan Nilai KB

Dari hasil pemeriksaan tersebut didapatkan bahwa,

$$KG = 1.414 \text{ m}$$

$$KB = 1.506 \text{ m}$$

$$BG = KB - KG$$

$$= 0.092 \text{ m}$$

Nilai BG tersebut digunakan untuk menggambar kurva stabilitas dari *midget submarine* ini saat menyelam. Stabilitas dapat di hitung menggunakan rumus dibawah ini:

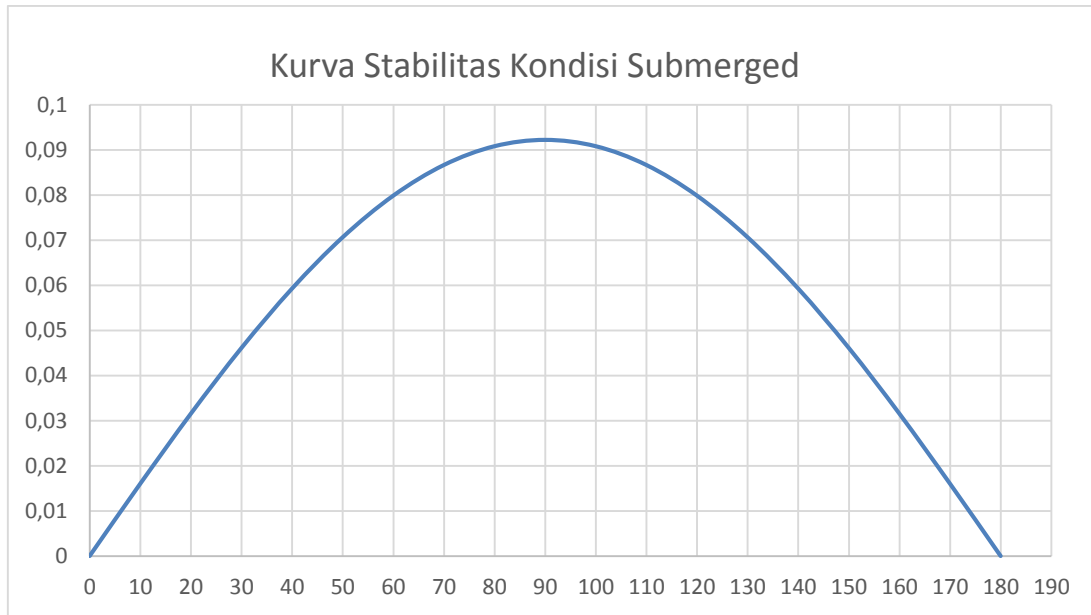
$$\overline{GZ} = \overline{BG} \sin \beta$$

Sehingga perhitungan stabilitas yang dihasilkan adalah sebagai berikut,

Tabel IV-21. Tabel Perhitungan Stabilitas kondisi submerged

β (deg)	$\sin \beta$	BG (m)	GZ
0	0	0.092	0
10	0.17365	0.092	0.016
20	0.34202	0.092	0.032
30	0.5	0.092	0.046
40	0.64279	0.092	0.059
50	0.76604	0.092	0.071
60	0.86603	0.092	0.080
70	0.93969	0.092	0.087
80	0.98481	0.092	0.091
90	1	0.092	0.092
100	0.98481	0.092	0.091
110	0.93969	0.092	0.087
120	0.86603	0.092	0.080
130	0.76604	0.092	0.071
140	0.64279	0.092	0.059
150	0.5	0.092	0.046
160	0.34202	0.092	0.032
170	0.17365	0.092	0.016
180	1.2E-16	0.092	0.000

Dari tabel tersebut dapat dibentuk kurva seperti pada Gambar IV-30 dibawah ini,



Gambar IV-30. Kurva stabilitas kapal selam saat kondisi *submerged*

Kriteria stabilitas kapal selam dapat mengacu pada peraturan IMO (international maritime Organization) dengan *Code A.749(18) Criteria 3.1.2.2: Max GZ at 30 or greater* (Pamuji, 2014). Dari hasil tersebut didapatkan hasil perhitungan nilai GZ maximum berada pada 90°. Dapat disimpulkan bahwa kondisi stabilitas tersebut dapat telah memenuhi kriteria yang disyaratkan.

Tabel IV-22. Kriteria Performance Stabilitas Kondisi Submerged

Item	Nilai
GZ max	90°
Kriteria	Nilai
GZ maz ≤ 30°	Memenuhi

Pada kondisi *submerged*, sebenarnya tidak dipermasalahkan untuk kapal selam jika mengalami oleng pada sudut berapapun. Hal tersebut dikarenakan saat kondisi menyelam kapal selam memiliki kedekatan yang mencegah air masuk kedalam badan kapal. Berbeda dengan kapal permukaan jika mengalami oleng terjadi kemungkinan badan kapal akan dibanjiri oleh air. Namun pada kapal selam, perlu juga dipertimbangkan mengenai kenyamanan dan akses para kru kapal untuk bekerja. Sehingga sebisa mungkin kapal tidak mengalami oleng yang berlebihan. Sehingga stabilitas pada kondisi submerged juga perlu diperhatikan.

IV.12.2. Stabilitas Kondisi *Surfaced*

Stabilitas saat kondisi *surfaced* dihitung agar kita dapat mengetahui kemampuan kapal selam kembali pada kedudukan semula apabila mengalami oleng pada saat berlayar dipermukaan. Kapal harus mempunyai stabilitas yang baik dan harus mampu menahan semua gaya luar yang mempengaruhinya hingga kembali pada keadaan seimbang. Hal-hal yang memegang peranan penting dalam stabilitas kapal antara lain:

- Titik G (*gravity*), yaitu titik berat kapal.
- Titik B (*buoyancy*), yaitu titik tekan keatas akibat air yang dipindahkan akibat badan kapal yang tercelup.
- Titik M (*metacentre*), yaitu titik perpotongan antara vector gaya tekan keatas pada keadaan tetap dengan vector gaya tekan keatas pada sudut oleng.

Ada 2 (dua) kriteria utama yang digunakan dalam perhitungan stabilitas kapal selam ini. Kriteria diambil dari peraturan pada *Code on Intact Stability, A.749(18) Ch3 - Design criteria applicable to all ships* (Pamuji, 2014), dan berikut adalah kriteria tersebut :

- 3.1.2.2: Max GZ at 30 or greater
Nilai lengan GZ maksimal harus berada pada 30° atau lebih
- 3.1.2.4: Initial GMt
Nilai dari GMt harus berada lebih besar dari 0.150 m

Sebelum menghitung stabilitas kapal utuh (*intact stability*), perlu dibuat beberapa kondisi yang akan diperiksa, yang biasa disebut dengan *loadcase*. Pada pengerjaan stabilitas yang dilakukan oleh (Pamuji, 2014), ada 6 kondisi pembebanan yang dilakukan. *Loadcase* tersebut dapat dilihat pada Tabel IV-23 dibawah ini.

Tabel IV-23. Kondisi Loadcase

No.	Loadcase Name	Description
1	Light #1	Torpedoes expended, LO 75%, fuel tank 75%, fresh water 100%, provision & stowage 50%, seawage 100%, density water 1.030 ton/m ³ .
2	Heavy After	Torpedoes expended, LO 75%, fuel tank 50%, fresh water 50%, provision & stowage 50%, seawage 50%, density water 1.019 ton/m ³ .
3	Heavy #1	Torpedoes complete, LO & fuel tank 50%, fresh water 50%, provision & stowage 50%, seawage 100%, density water 1.019
4	Heavy #2	Torpedoes complete, LO 50%; fuel tank full, fresh water 50%, provision & stowage 50%, seawage 100%, density water 1.019
5	Heavy Forward #1	Torpedoes complete, LO 75%, fuel tank full, fresh water 75%, provision & stowage 75%, seawage 100%, density water 1.030
6	Heavy Forward #2	Torpedoes complete, LO 75%, fuel tank full, fresh water 50%, provision & stowage 50%, seawage 100%, density water 1.019

Penggunaan loadcase tersebut dilakukan untuk kapal selam yang memiliki sistem torpedo. Dikarenakan kapal selam ini tidak memiliki sistem torpedo, maka kondisi pembebanan torpedo dapat diabaikan.

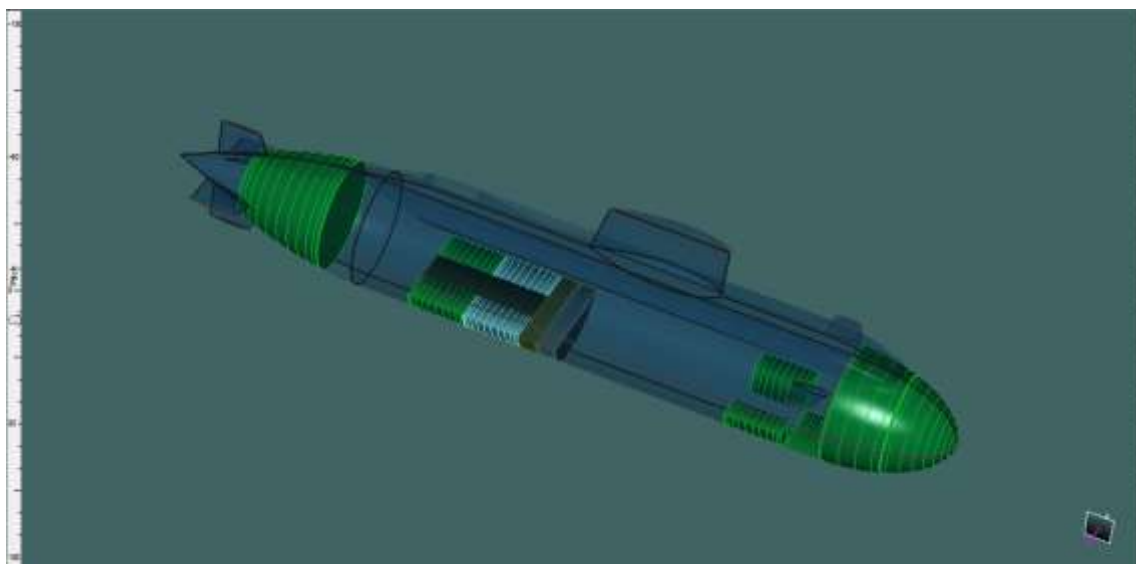
Untuk perhitungan stabilitas kapal digunakan software *Maxsurf Stability*, langkah-langkah yang perlu dilakukan untuk menghitung stabilitas kapal ini adalah sebagai berikut :

1. Buat tangki-tangki yang ada pada kapal seperti: tangki ruang muat, tangki untuk bahan bakar, tangki ballast, tangki air tawar dan tangki lainnya
2. Masukkan Ukuran Tangki dengan mengklik toolbar *room definition window*.
3. *Input* 3 koordinat yaitu panjang (After sampai Fore), lebar (Portside sampai Starboard) dan tinggi tangki (Bottom sampai Top).

	Name	Type	Intact Perm. %	Damaged Perm. %	Specific gravity	Fluid type	Boundary surfaces	Alt. m	Fore m	F.Pori. m	F.Sbd. m	F.Top m	F.Bott. m	A.Pori. m	A.Sbd. m
1	Mit GPT	Tank	85	100	1.025	Water Ball	none	2	4.5	-2	2	2.8	0	-8.8	0.8
2	Mit FVD	Tank	85	100	1.025	Water Ball	none	16	21	-2	2	2.8	0	DIFFO	DIFFO
3	T Ballon Bakar	Tank	70	100	0.9443	Fuel Oil	none	7	10	-8.5	0.5	1	0	DIFFO	DIFFO
4	T Peng PG1	Tank	70	100	1.025	Water Ball	none	7	5.5	-3	-0.5	1	0	DIFFO	DIFFO
5	T Peng SB1	Tank	70	100	1.025	Water Ball	none	7	5.5	8.5	2	1	0	DIFFO	DIFFO
6	T ATW PS	Tank	70	100	1	Fresh Water	none	8.5	10	-2	-0.5	1	0	DIFFO	DIFFO
7	T ATW SB (A)	Tank	70	100	1	Fresh Water	none	8.5	10	8.5	3	1	0	DIFFO	DIFFO
8	T Lubr Oil	Tank	70	100	0.90	Lubr Oil	none	16	10.5	-3	3	1	0	DIFFO	DIFFO
9	Sewage	Tank	70	100	0.913	Slope	none	18.5	11	-2	2	1	0	DIFFO	DIFFO
10	T Peng PS2	Tank	70	100	1.025	Water Ball	none	15.5	17	-2	-8.75	1	0	DIFFO	DIFFO
11	T Peng SB2	Tank	70	100	1.025	Water Ball	none	15.5	17	0.75	2	1	0	DIFFO	DIFFO
12	Mit GPT 2	Tank	70	100	1.025	Water Ball	none	17	18	-2	2	6.25	0	DIFFO	DIFFO

Gambar IV-31. Proses Pembuatan Tangki Pada Kapal Selam

- Masukkan massa jenis masing-masing tangki, untuk jenis muatan yang tidak terdapat di *Maxsurf Stability* bisa dibuat sendiri dengan mengklik toolbar *Analysis -> Density*.
- Setelah Semua tangki telah dibuat, hasilnya dapat dilihat dari tampak 2 dimensi ataupun 3 dimensi seperti berikut:



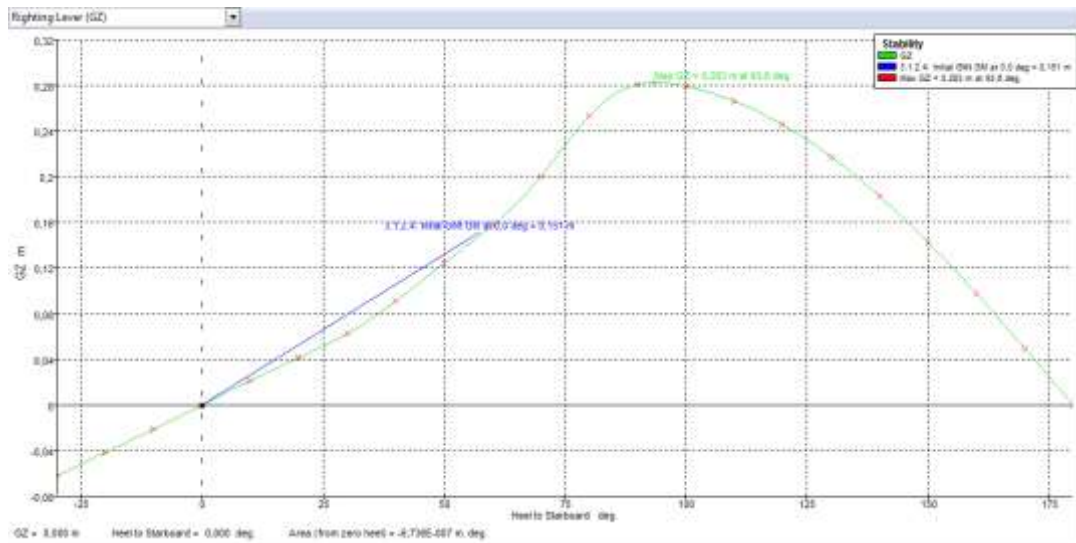
Gambar IV-32. Tampak 3 dimensi susunan tangki kapal selam

6. Buat kondisi yang diinginkan untuk kondisi kapal dimana tangki diisi penuh atau dikosongkan dengan mengklik simbol toolbar *loadcase* dan memasukan data kapal yang telah dihitung.
7. Isi kolom *lightship* dengan berat *lightweight* hasil perhitungan, baris *long arm* dengan LCG hasil perhitungan dan baris *Vert arm* dengan VCG hasil perhitungan

Item Name	Quantity	Light Mass tonnes	Total Mass tonnes	Light Volume m³	Total Volume m³	Long. Arm m	Trans. Arm m	Vert. Arm m	Total FSB tonnes/m	FSB Type
1 Lightship	1	92.593	92.593			11.332	0.000	1.370	0.000	Over Speed
2 MDT AFT	50%	9.047	9.416	0.667	0.204	3.440	0.000	0.621	3.074	Maximum
3 MDT FWD	50%	11.014	0.497	11.529	0.339	19.125	0.000	0.395	3.945	Maximum
4 T Batten Star	70%	1.917	1.437	2.039	1.522	0.590	0.000	0.236	0.236	Maximum
5 T Batten PS1	20%	0.582	0.145	0.067	0.142	7.750	-0.714	0.336	0.096	Maximum
6 T Batten SE1	20%	0.582	0.145	0.067	0.142	7.750	0.714	0.336	0.096	Maximum
7 T ATW PS	100%	0.567	0.567	0.567	0.567	9.250	-0.549	0.602	0.000	Maximum
8 T ATW SB (A)	100%	0.567	0.567	0.567	0.567	9.250	0.549	0.602	0.000	Maximum
9 T Lure (A)	70%	0.059	0.494	0.117	0.123	16.350	0.000	0.491	0.064	Maximum
10 Sponson	70%	0.054	0.491	0.117	0.123	16.350	0.000	0.491	0.047	Maximum
11 T Batten #12	20%	0.261	0.260	0.343	0.306	16.250	0.000	0.434	0.037	Maximum
12 T Batten #12	20%	0.261	0.260	0.343	0.306	16.250	0.000	0.434	0.037	Maximum
13 MDT AFT 2	50%	0.196	0.196	0.191	0.106	17.650	0.000	0.103	0.372	Maximum
14 Total Load			106.630	21.741	15.910	11.343	0.000	1.296	9.583	
15 FS correction								0.888		
16 VCG Ratio								1.385		

Gambar IV-33. Proses pembuatan *loadcase* pada tangki

8. Setelah selesai, running program dengan start *analysis*. Hasil langsung dapat dilihat di simbol toolbar report.



Gambar IV-34. Hasil grafik stabilitas yang telah di *running*

Berikut adalah rangkuman hasil *running* program dari stabilitas yang dihitung dengan pembebanan 6 kondisi :

Tabel IV-24. Summary hasil running stabilitas 6 kondisi loadcase

Items	Value Req	Unit	LIGHT #1		Heavy After		Heavy #1		Heavy #2		Heavy Forward #1		Heavy Forward #2	
Displacement		Ton	108.6		108.5		108.5		109		109.5		109.2	
Draft Amidship		m	2.392		2.389		2.389		2.4		2.411		2.404	
Draft at FP		m	2.528		2.548		2.548		2.534		2.537		2.536	
Draft at AP		m	2.255		2.229		2.229		2.267109.		2.285		2.272	
Stability			Actual		Actual		Actual		Actual		Actual		Actual	
Max GZ at 30 or greater	0.200	m	0.281	Pass	0.287	Pass	0.287	Pass	0.292	Pass	0.294	Pass	0.293	Pass
Initial GMt	0.150	m	0.151	Pass	0.160	Pass	0.160	Pass	0.250	Pass	0.168	Pass	0.166	Pass

Dari hasil analisa stabilitas tersebut dapat diketahui bahwa hasil desain *midget submarine* telah memenuhi kriteria yang berlaku.



“because far, is never far enough”

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

V.1. Pendahuluan

Pada bab ini akan dijelaskan kesimpulan dari beberapa hal yang telah dijelaskan pada bab sebelumnya tentang proses desain *midget submarine* dan juga saran untuk penelitian selanjutnya

V.2. Kesimpulan

Setelah proses desain dari Tugas Akhir terselesaikan maka didapat kesimpulan sebagai berikut:

1. *Operational Requirements Midget Submarine*, dengan fungsi dan tugas melakukan kegiatan penelitian (*research*), pengamatan (*observasi*), deteksi, intai (*spy*) dan penyusupan. Dengan parameter sebagai berikut:

Tabel V-1. Operational Requirements Midget Submarine

Parameter	Nilai	Satuan
Crew	8	person
Operational Depth	100	m
Max Dept	150	m
Max Speed	9	knot
Max Speed Endurance	1	day
Mission Endurance	5	day
Without Snorkilng	2	day

2. Dari hasil perhitungan dan analisis, didapat ukuran utama *Midget Submarine* untuk perairan Indonesia, yaitu:

L	:	21.000 m
Diameter	:	3.000 m
H	:	4.641 m
T (surface)	:	2.370 m
V (submerged)	:	9 Knot
Maximum depth	:	150 m
Waktu Jelajah	:	5 hari
Durasi Menyelam	:	2 hari (tanpa snorkling)
Displasemen (sur)	:	108.580 ton
Displasemen (sub)	:	120.654 ton
Jumlah Kru	:	8 orang

Kapal *Midget Submarine* tersebut memenuhi persyaratan teknis dari pembangunan sebuah kapal yaitu batasan displasemen, dan stabilitas.

3. Rencana Garis, Rencana Umum, dan hasil *running Maxsurf Stability* dapat dilihat pada lampiran

V.3. Saran

Saran berisi tentang hal-hal yang dapat dikembangkan dari Tugas Akhir ini, yang nantinya dapat dijadikan sebagai judul untuk Tugas Akhir selanjutnya, serta kekurangan-kekurangan yang terdapat dalam Tugas Akhir ini, yaitu :

- Desain *midget submarine* ini belum melakukan desain 3D *Internal Arrangement* secara mendetail.
- Untuk penelitian selanjutnya perlu dikaji juga mengenai kekuatan sistem konstruksi pada *Midget Submarine* ini, terutama kekuatan *Pressure Hull*.
- Untuk analisa hidrodinamika kapal selam, dapat dilakukan analisa pemilihan jenis konfigurasi *fin (planes)* dan *sail (brigde fin / conning tower)* yang paling efisien dengan menggunakan aplikasi CFD.
- Dalam segi stabilitas, pengerjaan Tugas Akhir ini belum melakukan analisis terhadap *equilibrium stability*.
- Selanjutnya dapat dilakukan perhitungan biaya pembuatan *midget submarine* dan analisa produksi secara detail.
- Dapat dilakukan desain kapal selam dengan ukuran yang lebih besar (*medium class submarine*) untuk keperluan perairan Indonesia.

Halaman ini sengaja dikosongkan



“because far, is never far enough”

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

V.1. Pendahuluan

Pada bab ini akan dijelaskan kesimpulan dari beberapa hal yang telah dijelaskan pada bab sebelumnya tentang proses desain *midget submarine* dan juga saran untuk penelitian selanjutnya

V.2. Kesimpulan

Setelah proses desain dari Tugas Akhir terselesaikan maka didapat kesimpulan sebagai berikut:

1. *Operational Requirements Midget Submarine*, dengan fungsi dan tugas melakukan kegiatan penelitian (*research*), pengamatan (*observasi*), deteksi, intai (*spy*) dan penyusupan. Dengan parameter sebagai berikut:

Tabel V-1. Operational Requirements Midget Submarine

Parameter	Nilai	Satuan
Crew	8	person
Operational Depth	100	m
Max Dept	150	m
Max Speed	9	knot
Max Speed Endurance	1	day
Mission Endurance	5	day
Without Snorkilng	2	day

2. Dari hasil perhitungan dan analisis, didapat ukuran utama *Midget Submarine* untuk perairan Indonesia, yaitu:

L	:	21.000 m
Diameter	:	3.000 m
H	:	4.641 m
T (surface)	:	2.370 m
V (submerged)	:	9 Knot
Maximum depth	:	150 m
Waktu Jelajah	:	5 hari
Durasi Menyelam	:	2 hari (tanpa snorkling)
Displasemen (sur)	:	108.580 ton
Displasemen (sub)	:	120.654 ton
Jumlah Kru	:	8 orang

Kapal *Midget Submarine* tersebut memenuhi persyaratan teknis dari pembangunan sebuah kapal yaitu batasan displasemen, dan stabilitas.

3. Rencana Garis, Rencana Umum, dan hasil *running Maxsurf Stability* dapat dilihat pada lampiran

V.3. Saran

Saran berisi tentang hal-hal yang dapat dikembangkan dari Tugas Akhir ini, yang nantinya dapat dijadikan sebagai judul untuk Tugas Akhir selanjutnya, serta kekurangan-kekurangan yang terdapat dalam Tugas Akhir ini, yaitu :

- Desain *midget submarine* ini belum melakukan desain 3D *Internal Arrangement* secara mendetail.
- Untuk penelitian selanjutnya perlu dikaji juga mengenai kekuatan sistem konstruksi pada *Midget Submarine* ini, terutama kekuatan *Pressure Hull*.
- Untuk analisa hidrodinamika kapal selam, dapat dilakukan analisa pemilihan jenis konfigurasi *fin (planes)* dan *sail (bridge fin / conning tower)* yang paling efisien dengan menggunakan aplikasi CFD.
- Dalam segi stabilitas, pengerjaan Tugas Akhir ini belum melakukan analisis terhadap *equilibrium stability*.
- Selanjutnya dapat dilakukan perhitungan biaya pembuatan *midget submarine* dan analisa produksi secara detail.
- Dapat dilakukan desain kapal selam dengan ukuran yang lebih besar (*medium class submarine*) untuk keperluan perairan Indonesia.



Tugas Akhir MN 141581

Nama :

Bagus Gelis Pratama Putra

NRP :

4111100026

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Operational Requirements

STUDI DESAIN *MIDGET SUBMARINE* UNTUK APLIKASI
INTELIJEN DAN MONITORING PERAIRAN INDONESIA

I. OPERATIONAL REQUIREMENTS

Operational Requirements Midget Submarine yang akan dirancang pada pekerjaan ini akan mempertimbangkan beberapa faktor sebagai berikut :

1. Fungsi dan Tugas

Midget Submarine ini didesain untuk melaksanakan fungsi intelijen dan monitoring wilayah kedaulatan Republik Indonesia. Kegiatan intelijen tersebut berupa pengumpulan data dengan jalan penelitian (research) , pengamatan (observasi) , deteksi dan penyusupan. Serta memonitoring wilayah perbatasan perairan Indonesia.

2. Wilayah Operasional

Wilayah operasional yang direncanakan dari desain *midget submarine* ini adalah wilayah perairan Indonesia yang merupakan daerah yang merupakan daerah operasi TNI-AL yang memungkinkan di susupi oleh pihak lawan. Biasanya wilayah operasional kapalselam berukuran mini ini tidak terlalu jauh dari pangkalan. Jika berada cukup jauh dari pangkalan kapalselam tersebut diangkut oleh kapal induk.

3. Kecepatan

Kecepatan merupakan salah satu faktor penting yang dibutuhkan sebuah kapal untuk menjalankan fungsinya. Untuk kapal perang pada umumnya memiliki kecepatan dinas yang tinggi. Demikian pula untuk kapalselam berukuran normal yang merupakan *Attack Class* memiliki kecepatan yang cukup tinggi, meskipun tidak setinggi kecepatan kapal permukaan. Kecepatan yang tinggi dibutuhkan guna melakukan pengejaran maupun untuk menghindari kejaran musuh. Namun dalam *midget submarine* ini tidak dibutuhkan kecepatan yang tinggi, dikarenakan keterbatasan ruang untuk sistem permesinan yang dibutuhkan. Untuk kapal ini direncanakan kecepatan maksimal sekitar 9 knot.

4. Kedalaman

Kedalaman yang direncanakan dapat ditempuh oleh kapalselam saat beroperasi adalah sekitar 30-100 m, dengan kedalaman maksimal 150 m. Penentuan kedalaman ini menyesuaikan dengan kedalaman laut Indonesia yang memiliki kedalaman rata-rata sekitar 120 m dari permukaan.

5. Pengawakan

Jumlah *crew* kapal yang akan mengawaki kapalselam ini adalah 4 orang awak kapal dan 4 orang pasukan katak.

6. Kemampuan Operasional

Kapalselam ini direncanakan dapat beroperasi dibawah permukaan tanpa snorkling selama 24 jam dalam maximum speed. Dan mampu meregenerasi udara untuk 8 kru selama 2 hari tanpa melakukan snorkling. Kapal juga direncanakan dapat berlayar dengan dalam kondisi submerged dan surface selama 5 hari.

Secara matematis, operational requirements tersebut dapat diterjemahkan sebagai berikut :

Crew =	8 person
Operational Depth=	100 m
Max Dept =	150 m
Max Speed =	9 knot
Max Speed Endurance =	1 day
Mission Endurance =	5 day
Without Snorkilng =	2 day



Tugas Akhir MN 141581

Nama : Bagus Gelis Pratama Putra

NRP : 4111100026

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Kebutuhan Volume

STUDI DESAIN *MIDGET SUBMARINE* UNTUK APLIKASI
INTELIJEN DAN MONITORING PERAIRAN INDONESIA

II. Kebutuhan Volume Kapalselam

II.1. Kebutuhan Volume Pressure Hull

$$V_{ph} = n * V_m / (1-C)$$

(submersible vehicle system design - hal 33)

V_{ph} = volume minimal dari pressure hull

n = jumlah orang di dalam pressure hull

V_m = kubik / orang (fig.9 - Submersible system design hal 34)

C = bagian volume yang digunakan dari V_{ph} yang digunakan selain manusia

n = 8 person

1 ft³ = 0.02832

V_m = 100 ft³/person

= 2.832 m³/person

Perbandingan Volume dan Berat Pada Kapal Selam Diesel

Item	Weight (%)	Space (%)
Payload	9	28
Structures	43	-
M. & A. Machinery	35	56
Acomod. & Outfit	4	11
Stores	1	5
Permanent Ballast	8	

C = machinery + Accomodation + outfit + stores

= 72 %

= 0.72

(Concepts in submarine design - Hal 56)

$V_{ph} = 80.914 \text{ m}^3$

$V_{ph \text{ des}} = 3.14 * r^2 * L_{ph}$

$r = 1.5 \text{ m}$

$L_{ph} = 12.5 \text{ m}$

$V_{ph \text{ des}} = 88.393 \text{ m}^3$ **Memenuhi**

II.2. Volume Main Ballast Tank

$$\text{MBT Vol} = \text{PH Vol} \times \text{ROB} / \text{Utility Factor}$$

(concepts in submarine design - hal 32)

$$\begin{aligned}\text{PH Vol} &= V_{ph} \\ &= 88.393 \text{ m}^3\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{ROB} &= \text{Perbandingan Reverse of Bouyancy dngan PH Vol} \\ &= 10 \sim 20 \% \\ &= 15\% \text{ (diambil)}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Utility F} &= \text{factor penggunaan tangki ballast terhadap} \\ &\quad \text{struktur tangki dan residu air dalam tangki} \\ &= 95\% \text{ (concepts in submarine design - hal 31)}\end{aligned}$$

$$\text{MBT Vol} = 13.957 \text{ m}^3$$

II.3. Form Volume

$$\begin{aligned}\text{Form Volume} &= (\text{PH Vol} + \text{MBT Vol}) \times 1.15 \\ &= 117.702 \text{ m}^3\end{aligned}$$

(concepts in submarine design - hal 32)

II.4 Normal Displacement

(diambil dari data maxsurf)

$$\begin{aligned}\text{Do} &= \text{Normal displacement} \\ &= \text{Form Volume} \times \rho_{sw} \\ &= 120.645 \text{ ton}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}108.58 \\ 24.1289\end{aligned}$$



Tugas Akhir MN 141581

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Data Kapal Pembanding

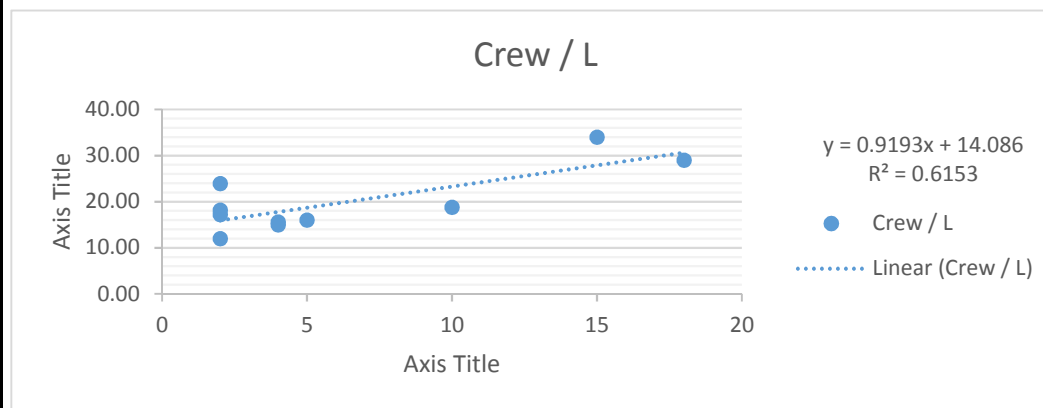
Nama : Bagus Gelis Pratama Putra

NRP : 4111100026

STUDI DESAIN *MIDGET SUBMARINE* UNTUK APLIKASI INTELIJEN DAN MONITORING PERAIRAN INDONESIA

III. Data Midget Submarine Yang Pernah Ada

No.	Name	Country Origin	Built	Crew	Length (m)	Beam (m)	Draught (m)	Displacement (tons)		Speeds (kn)	
								Sur	Sub	Sur	Sub
1	Euronaut	Germany	2003	5	16.01	2.50	-	57.30	67.30	8.00	-
2	Ghaidir Class	Iran	2007	18	29.00	3.00	2.50	115.00	120.00	11.00	-
3	Ko-Hyoteki Class	Japan	1940	2	23.90	1.80	2.60	-	47.00	23.00	19.00
4	Kairyu Class	Japan	1943	2	17.20	1.20	-	-	19.30	7.00	10.00
5	Seehund	Germany	1943	2	12.00	1.50	-	17.00	18.02	7.00	3.00
6	Bathyscaphe Trieste	Italy	1945	2	18.15	3.51	-	-	50.00	-	-
7	CB-class	Italy	1943	4	14.99	3.00	2.05	35.40	44.30	7.50	7.00
8	Sang-O Class	N Korea	-	15	34.00	3.80	-	275.00	370.00	7.50	9.00
9	X-Class	UK	1944	4	15.62	1.75	1.60	27.00	30.00	6.50	5.50
10	Una-Class	Yugoslavia	1989	10	18.82	2.40	2.40	76.10	87.60	7.00	8.00



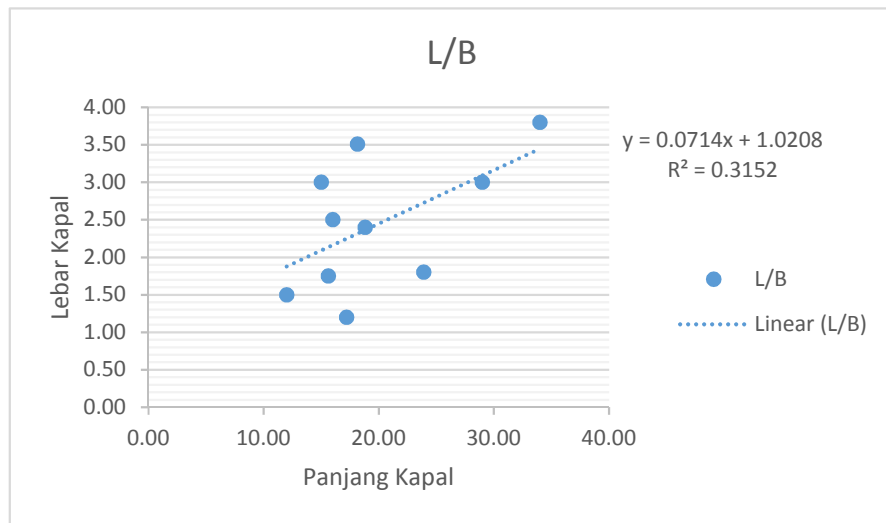
Crew / L

$$y = 0.9193x + 14.086$$

x = crew = 8

y = 21.4404 m

~ 21 m



L/B

$$y = 0.0714x + 1.0208$$

x = L = 21

y = 2.5202 m

~ 3 m

L/B
6.404
9.666667
13.27778
14.33333
8
5.17094
4.996667
8.947368
8.925714
7.841667
8.756413

Ukuran Utama yang diambil :

L = 21 m
B = D = 3 m



Tugas Akhir MN 141581

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Battery

Nama : Bagus Gelis Pratama Putra

NRP : 4111100026

STUDI DESAIN *MIDGET SUBMARINE* UNTUK
APLIKASI INTELIJEN DAN MONITORING
PERAIRAN INDONESIA

V. Estimasi Kebutuhan Battery

V.1. Menghitung Hotel Load dari Payload

Hotel Load adalah daya listrik yang dibutuhkan kapal dalam kondisi tidak berlayar

a. Estimasi Daya untuk Communication and Navigation Equipment

No.	Equipment	Power (Watt)	Unit	Power
1	Gyro compass	80	1	80
2	Inmarsat C	130	1	130
3	VHF Radiotelephone	112.8	3	338.4
4	MF/HF Radiotelephone	120	1	120
5	GPS	25	1	25
6	Intercomm	39.6	3	118.8
7	ECDIS	108	1	108
9	AIS	84	1	84
10	NAVTEX	9	1	9
11	Mast Head Light	40	2	80
12	All Around Light	40	2	80
Total			17	1173.2

b. Estimasi daya untuk Fire alarm

No.	Equipment	Power (Watt)	Unit	Power
1	Smoke Detector	0.96	4	3.84
2	Heat detector	0.96	4	3.84
3	Flame detector	0.216	4	0.864
4	Fire Alarm	4.32	4	17.28
5	Fire Alarm System	18.7	4	74.8
6	General Alarm	9	2	18
Total			22	118.624

b. Estimasi daya untuk Accomodation Equipment

No.	Equipment	Power (Watt)	Unit	Power
1	Accommodation Lamp	5.5	10	55
2	Fans	80	1	80
3	Electric heaters	80	1	80
4	Air conditioning	80	1	80
Total			13	295

Total Hotel Load = 1586.824 Watt
= 1.586824 kW

V.2. Estimasi Kebutuhan Daya Listrik Kapal

$$\text{Sub HL} = 0.75 * \text{HLPAY} + 0.075 * \text{PH Vol}$$

$$\text{HL Pay} = 1586.824 \text{ watt}$$

$$\text{PH Vol} = 88.393 \text{ m}^3$$

$$\text{Sub HL} = 1196.747 \text{ watt}$$

V.3. Estimasi Jumlah Baterai

$$N \text{ batt} = \text{Submerged Energy} / (\text{stored energy/cell}) * (1+x)$$

$$\text{Submerged Energy} = \text{Sub HL} + \text{Propulsion Motor Power}$$

$$\text{Prop Motor Pow} = 350000 \text{ Watt}$$

$$\text{Sub HL} = 1196.747 \text{ Watt}$$

$$\text{Submerged Energy} = 351196.747 \text{ watt}$$

$$= 351.197 \text{ kW}$$

Energy Stored / Cell :

Merk = Aquawatt

Type = Lithium Ion

$$\text{Voltage} = 50 \text{ V}$$

$$\text{Current} = 200 \text{ Ah}$$

$$L = 754 \text{ mm}$$

$$B = 560 \text{ mm}$$

$$H = 320 \text{ mm}$$

$$\text{Battery Energy} = \text{Batt. Voltage} * \text{Batt. Current}$$


$$= 10000 \text{ watt}$$

$$x = \text{battery chargeing factor}$$

$$= 0.2 \text{ (asumption)}$$

$$N \text{ batt} = 42.1436097$$

$$= 43 \text{ batteries}$$

	Tugas Akhir MN 141581	Nama :	Bagus Gelis Pratama Putra
	Institut Teknologi Sepuluh Nopember	NRP :	4111100026
	<i>Machinery</i>	STUDI DESAIN <i>MIDGET SUBMARINE</i> UNTUK APLIKASI INTELIJEN DAN MONITORING PERAIRAN INDONESIA	

IV. Machinery

IV.1. Effective Power

Power eff = $K_p \times (\text{form vol})^{0.64} \times U_{\text{max}}^{2.9}$

(concepts in submarine design - hal 255)

K_p = koefisien propulsi (biasa diambil 20)
Form Vol = kebutuhan volume hull form
 U_{max} = kecepatan maximum

K_p = 20
Form Vol = 117.702 m3
 U_{max} = 9 knot

Power eff = 247534 Watt
= 247.53 kW

IV.2. Motor Powering

Motor Pwr = Power Eff / $\eta_O \times \eta_H \times \eta_S$

η_O = 0.65
 η_H = 1.3
 η_S = 0.98

Motor Pwr = 298.92 kW

Koreksi + (15%) = 343.76 kW

IV.3. Pemilihan Motor

Setelah kebutuhan Motor Power didapatkan maka langkah berikutnya adalah menentukan motor induk yang akan digunakan. Berdasarkan katalog mesin induk kapal didapatkan bahwa jenis dan ukuran motor induk dengan spesifikasi sebagai berikut :

Nama Produk Motor	= TEMA
Type Mesin	= LPMR 350
Daya Mesin	= 350 KW
RPM	= 4000 RPM
Panjang	= 1164 mm
Lebar	= 1050 mm
Tinggi	= 910 mm
Berat	= 733 kg

IV.3. Pemilihan Generator Set

Pemilihan kebutuhan daya generator set ini diambil dari hasil perhitungan power efficiency. Hal ini dikarenakan kapal selam ini menggunakan main propulsion berupa electric motor. Berdasarkan catalog Generator set yang ada, didapatkan generator set dengan spesifikasi sebagai berikut:

Kebutuhan Generator :

N mot = Motor Pwr
298.92 kW

N gen \geq 1 N mot

N gen \leq 1.4 N mot

N Gen = 418.49 kW

Nama Produk Mesin	= CATERPILLAR
Type Mesin	= 3412C
Daya Mesin	= 400 kW
RPM	= 1800 RPM
Panjang	= 3324 mm
Lebar	= 1267 mm
Tinggi	= 1556 mm
Berat	= 4327 kg
Jumlah	= 1 Generator



Tugas Akhir MN 141581

Nama :

Bagus Gelis Pratama Putra

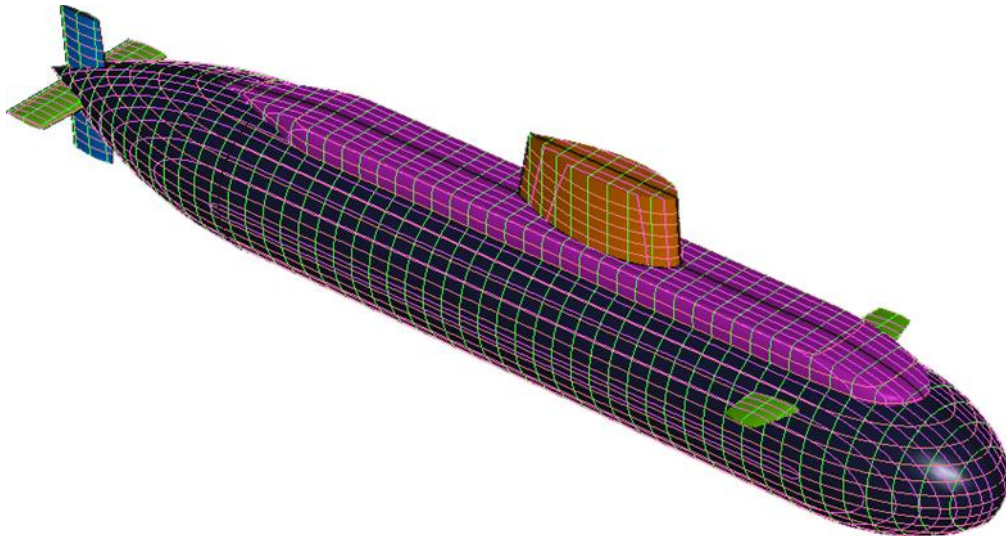
NRP :

4111100026

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

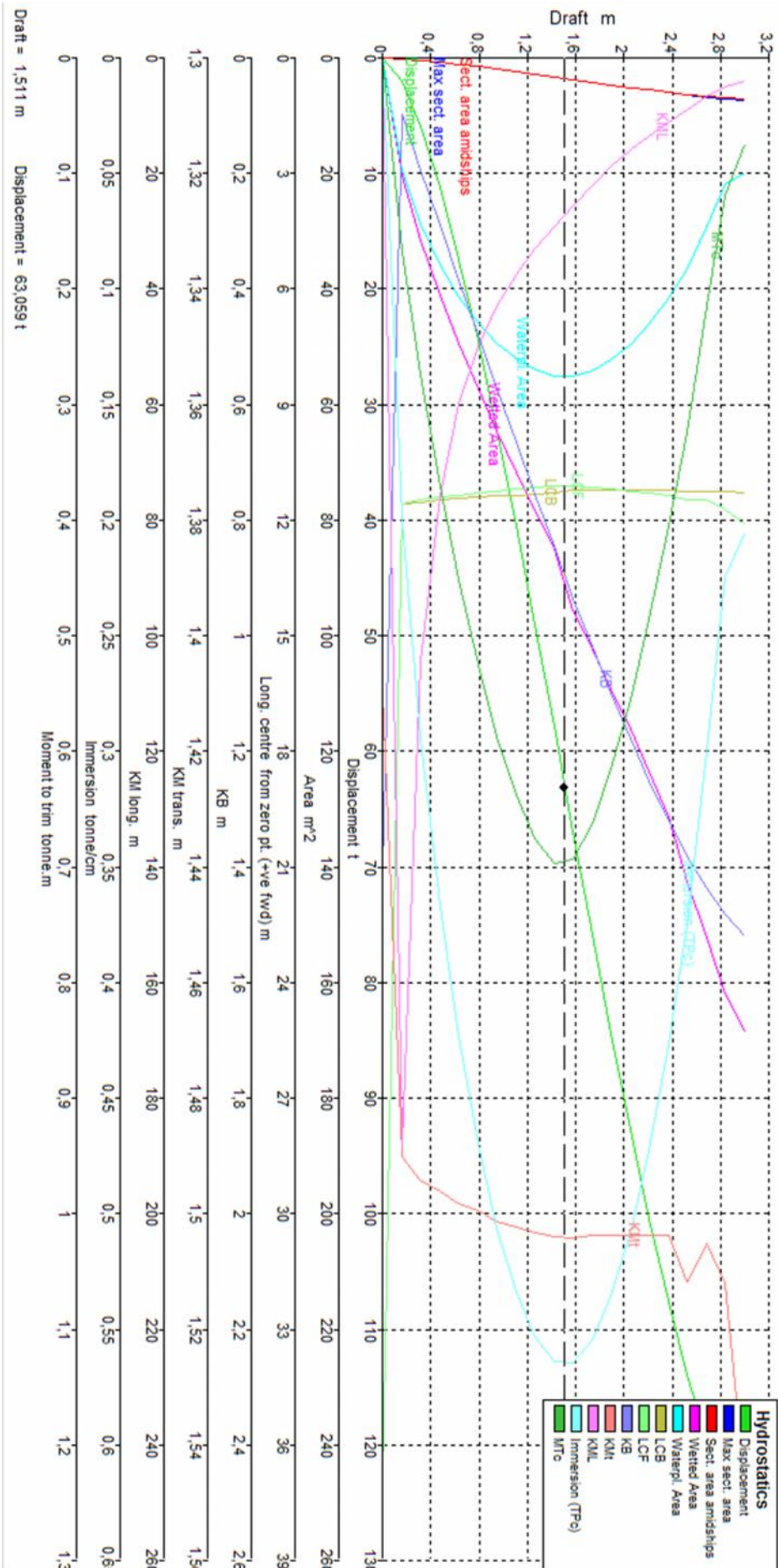
Hullform

STUDI DESAIN *MIDGET SUBMARINE* UNTUK APLIKASI
INTELIJEN DAN MONITORING PERAIRAN INDONESIA



1. Main Dimension

L_{WL}	=	19.843 m	(surface)
L_{pp}	=	21.000 m	
B	=	3.000 m	
H	=	4.640 m	
T	=	2.500 m	
V _{sea}	=	9.000 knot	
C _b	=	0.582	(surface)
C _p	=	0.870	(surface)
C _m	=	0.838	
D	=	112.900 ton	
D _{sub}	=	135.100 ton	
Vol	=	110.169 m ³	
Vol Sub	=	131.757 m ³	
WSA	=	147.199 m ²	
WSA sub	=	242.692 m ²	



Daftar Equipment

Nama Item	Merk	Type	Jumlah	@Ukuran (mm)			Volume (m3)	(Kg)	Berat	Keterangan
				Panjang	Lebar	Tinggi		@Berat	total	
Inner of Pressure Hull										
Motor Electric	TEMA LPMR	LPMR-350	1	1164	1050	910	1.112	733	733	350 KW
Diesel And Generator	CATERPILLAR	3406C	1	3324	1267	1556	6.553	4327	4327	250 KW
Battery	Aquawatt	Li-ion	56	700	390	330	5.045	100	5600	50V 160Ah
Combat Management System (CMS)	Kongsberg	MSI-90U	2	1400	600	1660	2.789	200	400	-
Compressor	BAUER	Mar 250-E	1	1250	590	630	0.465	135	135	250 l/min
Tabung Kompresor	-	-	4	240	(dia)	1480	0.268	60	240	isi 6 m3
Outer of Pressure Hull										
Cylindrical Hydrophone Array (CHA)	-	-	1	73.5	(dia)	39	0.00066156	220	280	
Passive Ranging Sonar (PRS)			6	1180	516	761		32	192	
Optronic	Carl Zeiss	Sero 400	1	190.5	(dia)	< 11 m		1200	1200	
Intercept Hydrophone Array			6	107	(dia)	290		3.5	21	
Echo Sounder			4	180	(dia)	305		5	20	
									13148	kg
									13.148	ton

Daftar Equipment

Nama Item	Merk	Type	Jumlah	@Ukuran (mm)			Volume (m3)	(Kg)	Berat	Keterangan
				Panjang	Lebar	Tinggi		@Berat	total	
Inner of Pressure Hull										
Motor Electric	TEMA LPMR	LPMR-350	1	1164	1050	910	1.112	733	733	350 KW
Diesel And Generator	CATERPILLAR	3406C	1	3324	1267	1556	6.553	4327	4327	250 KW
Battery	Aquawatt	Li-ion	56	700	390	330	5.045	100	5600	50V 160Ah
Combat Management System (CMS)	Kongsberg	MSI-90U	2	1400	600	1660	2.789	200	400	-
Compressor	BAUER	Mar 250-E	1	1250	590	630	0.465	135	135	250 l/min
Tabung Kompresor	-	-	4	240	(dia)	1480	0.268	60	240	isi 6 m3
Outer of Pressure Hull										
Cylindrical Hydrophone Array (CHA)	-	-	1	73.5	(dia)	39	0.00066156	220	280	
Passive Ranging Sonar (PRS)			6	1180	516	761		32	192	
Optronic	Carl Zeiss	Sero 400	1	190.5	(dia)	< 11 m		1200	1200	
Intercept Hydrophone Array			6	107	(dia)	290		3.5	21	
Echo Sounder			4	180	(dia)	305		5	20	
									13148	kg
									13.148	ton



Tugas Akhir MN 141581

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Resistance

Nama :

Bagus Gelis Pratama Putra

NRP :

4111100026

STUDI DESAIN *MIDGET SUBMARINE* UNTUK APLIKASI
INTELIJEN DAN MONITORING PERAIRAN INDONESIA

VI. Perhitungan Hambatan Kapal Selam

Tabel Konversi

1 knot =	0.514 m/s
1 knot =	1.688 ft/s
1 m =	3.281 ft
1 kg/m ³ =	0.062 lb/ft ³
1 m ² =	10.764 ft ²

VI.1 Hambatan Kondisi Submerged

$$R_t = R_{bh} + R_{app}$$

(*Submersible Vehicle System Design, hal-252*)

R_t = total Resistance

R_{bh} = bare hull resistance

R_{app} = resistance of appendages

VI.1.1. Bare Hull Resistance

$$R_{bh} = \frac{1}{2} \rho A V^2 C_t$$

ρ = mass density of the operating fluid

A = reference area of the submerible (wetted area)

V = Velocity of the submersibles, ft/s

C_t = non dimensional drag coefficient

$$\rho = 1025 \text{ kg/m}^3$$

$$= 63.989 \text{ lb/ft}^3$$

$$A = 171.248 \text{ m}^2$$

$$= 1843.2963 \text{ ft}^2$$

$$C_t = C_f + \Delta C_f + C_r + C_w$$

C_f = frictional resistance coefficient

ΔC_f = correlation allowance (0.0004 - 0.0009)

C_r = residual resistance coefficient

C_w = Wave making resistance coefficient

Perhitungan C_f

$$C_f = 0.0075 / (\log_{10} Re - 2)^2$$

$$Re = V * L / \nu$$

ν = Kinematic viscosity (salt water)

$$= 1.079 \times 10^{-6}$$

L = Characteristic length

= Lpp

= 21 m

= 68.898 ft

V = speed

= 9 knot

= 15.190 ft/s

Re = 9.704E+08

Cf = 1.536E-04

$\Delta C_f = 0.0004 \sim 0.00009$

= 0.0005 (diambil)

Cr = 0.00039 (bentuk tipe Fleet Submarine)

Hullform	Cr x 10 ⁻³
Deep Quest	0.677
DSRV	0.435
Fleet Sub	0.39
Albacore	0.1

Cw = 0 (fully submerged mode)

Ct = 1.044E-03

maka,

R_{bh} = 14201.978 N

14.202 kN

VI.1.2. Resistance of Appendages

$$R_{app} = \frac{1}{2} \rho A V^2 C_t$$

A = Appendages wetted area dari data maxsurf

V = 15.190 ft/s

Ct = drag coefficient for the appendages

(*Submersible Design System Design, hal 253*)

Ct (Based on frontal area)

$C_t = C_f [3 (\text{lenght}/\text{diam}) + 4.5 (\text{diam}/\text{lenght})^{1/2} + 21 (\text{diam}/\text{lenght})^2]$

= 0.0036

Ct (based on wetted surface)

$C_t = C_f [1 + 1.5 (\text{diam}/\text{lenght})^{3/2} + 7 (\text{diam}/\text{lenght})^3]$

= 0.0002

Ct = 0.0036 (diambil terbesar)

Luasan Appendages dan Hambatannya :

No	Part	A (m2)	A (ft2)	Ct	R app (N)
1	Rudder Top	2.929	31.527	0.0036	76.838
2	Rudder Bottom	2.929	31.527	0.0036	76.838
3	Aft Planes-Top	2.924	31.474	0.0036	76.707
4	Aft Planes-Bot	2.919	31.420	0.0036	76.576
5	Fin	9.576	103.075	0.0036	251.213
6	Fwd Plane-Up	1.403	15.102	0.0036	36.806
7	Fwd Plane-Low	1.409	15.166	0.0036	36.963
8	Rudder Top End	0.085	0.915	0.0036	2.230
9	Rudder Bot End	0.085	0.915	0.0036	2.230
10	Aft Planes - End	0.165	1.776	0.0036	4.329
11	Fwd Planes End	0.075	0.807	0.0036	1.968
12	Deck	32.145	346.006	0.0036	843.279
				Σ	1485.976

R app : 1485.976 N
1.486 kN

sehingga,

$$R_t = R_{bh} + R_{App}$$

$$= 15.688 \text{ kN}$$

VI.2 Hambatan Kondisi Surface

Persamaan yang digunakan saat menghitung hambatan kondisi surface tidak berbeda dengan persamaan diatas. Namun pada kondisi ini C_w dengan perhitungan dengan menggunakan rumus koefisien gelombang pada Holtrop dimana $C_w = R_w$.

$$\frac{R_w}{W} = C_1 C_2 C_3 e^{m_1 \times Fn^d + m_2 \cos(\frac{1}{2} Fn^2)}$$

(Principles of Naval Architechture, hal 91)

a. Perhitungan Froude Number

$$Fn = V_s / \sqrt{g \times L}$$

$$= 0.323$$

$$V_s = 9 \text{ knot}$$

$$= 4.630 \text{ m/s}$$

$$g = 9.81 \text{ m/s}^2$$

$$\rho = 1.025 \text{ ton/m}^3$$

b. Perhitungan Koefisien C_1

$$C_1 = 2223105 C_4^{3.7861} (T/B)^{1.0796} (90 - iE)^{(-1.3757)}$$

dimana ;

$$B/L = 0.143$$

Untuk $(0.11 \leq B/L \leq 0.25)$, maka $C_4 = B/L$, yaitu :

$$C_4 = 0.143$$

$$(T/B)^{1.0796} = 0.821$$

$$iE = 125.67(B/L) - 162.25 C_p^2 + 234.32 C_p^3 + 0.1551(LCB + (6.8(Ta - Tf)/T))^3$$

$$= 17.953 \text{ degree} \quad (\text{a half angle of entrance of the load waterline})$$

sehingga ;

$$C_1 = 3.16$$

c. Perhitungan Koefisien C2

C_2 = koefisien pengaruh bulbous bow

$$C_2 = \frac{e^{(-1.89)} A_{BT} r_B}{BT(r_B + i)}$$

$C_2 = 1$; kapal tanpa bulbousbow

d. Perhitungan Koefisien C3

C_3 = koefisien pengaruh bentuk transom stern terhadap hambatan

$$C_3 = 1 - \frac{0.8 \times A_T}{B \times T \times C_m}$$

dimana ;

$$A_T = 0 \text{ m}^2$$

$$C_3 = 1$$

e. Parameter d

$$d = -0.9 \quad (\text{tetapan untuk } Fn < 0.4)$$

f. Perhitungan Koefisien C5

C_5 = koefisien dengan fungsi koefisien prismatic (C_p)

dimana ;

$$C_p = 0.87$$

Untuk ($C_p \geq 0.8$), maka C_5 dihitung sebagai berikut :

$$C_5 = 1.7301 - 0.7067 C_p$$

$$C_5 = 1.730$$

g. Perhitungan koefisien C6

C_6 = koefisien pengaruh terhadap harga L^3/∇

dimana ;

$$L^3/\nabla = 84.062$$

Untuk ($L^3/\nabla = 512$), maka C_6 adalah :

$$C_6 = -1.69385$$

h. Perhitungan koefisien m1

$$\begin{aligned} m_1 &= 0.01404 (L/T) - 1.7525 (\nabla^{1/3}/L) - 4.7932 (B/L) - C_5 \\ &= -2.697 \end{aligned}$$

i. Perhitungan koefisien m2

$$\begin{aligned} m_2 &= C_6 \times 0.4 \times e^{-0.034 \times Fn^{(-3.29)}} \\ &= -1.694 \times 0.4 \times e^{-0.034 \times 0.323^{(-3.29)}} \\ &= -0.165971 \end{aligned}$$

j. Perhitungan koefisien λ

λ = koefisien pengaruh terhadap harga L/B

dimana ;

$$L/B = 7.000$$

$$\begin{aligned}
 &\text{Untuk } (L/B < 12), \text{ maka } l \text{ adalah :} \\
 l &= 1.446 C_p - 0.03 L/B \\
 &= (1.446 \times C_p) - (0.03 \times 7.000) \\
 &= 1.065
 \end{aligned}$$

k. Perhitungan W

$$\begin{aligned}
 W &= \rho g \nabla \\
 &= 1.025 \times 9.81 \times 110.17 \\
 &= 0.11 \quad \text{kN}
 \end{aligned}$$

Sehingga, harga R_w / W adalah :

$$\begin{aligned}
 \frac{R_w}{W} &= C_1 C_2 C_3 e^{m_1 \times Fn^d + m_2 \cos(l \times Fn^{-2})} \\
 &= 3.23 \times 1 \times 1 \times e^{-1.961 \times (0.159^{-0.9}) + (-0.00435) \cos(0.914 \times (0.159^{-2}))} \\
 &= 1.81E-03
 \end{aligned}$$

maka, harga R_w adalah :

$$R_w = 0.0002$$

$$\begin{aligned}
 C_w &= R_w \\
 C_w &= 0.0002
 \end{aligned}$$

VI.2.1. Hambatan Kapal Kosong saat surface

$$\begin{aligned}
 C_t &= C_f + \Delta C_f + C_r + C_w \\
 &= 1.E-03 \\
 A &= 147.199 \text{ m}^2 \\
 &= 1584.435 \text{ ft}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 R_{bh} &= \frac{1}{2} \rho A V^2 C_t \\
 &= 14552.404 \text{ N} \\
 &= 14.552 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

VI.2.1. Hambatan Appendages Kosong saat surface

$$R_{app} = \frac{1}{2} \rho A V^2 C_t$$

$$\begin{aligned}
 A &= \text{Appendages wetted area dari data maxsurf} \\
 V &= 15.190 \\
 C_t &= \text{drag coefficient for the appendages} \\
 C_f &= 1.536E-04
 \end{aligned}$$

C_t (Based on frontal area)

$$\begin{aligned}
 C_t &= C_f [3 (\text{lenght/diam}) + 4.5 (\text{diam/lenght})^{1/2} + 21 (\text{diam/lenght})^2] \\
 &= 0.0036
 \end{aligned}$$

Ct (based on wetted surface)

$$C_t = C_f \left[1 + 1.5 \left(\frac{\text{diam}}{\text{lenght}} \right)^3 + 7 \left(\frac{\text{diam}}{\text{lenght}} \right)^3 \right]$$
$$= 0.0002$$

$$C_t = 0.0036 \text{ (diambil terbesar)}$$

Luasan Appendages dan Hambatannya :

No	Part	A (m2)	A (ft2)	Ct	R app
1	Rudder Top	2.929	31.527	0.0036	76.838
2	Rudder Bottom	2.929	31.527	0.0036	76.838
3	Aft Planes-Top	2.924	31.474	0.0036	76.707
4	Aft Planes-Bot	2.919	31.420	0.0036	76.576
6	Fwd Plane-Up	1.403	15.102	0.0036	36.806
7	Fwd Plane-Low	1.409	15.166	0.0036	36.963
8	Rudder Top End	0.085	0.915	0.0036	2.230
9	Rudder Bot End	0.085	0.915	0.0036	2.230
10	Aft Planes - End	0.165	1.776	0.0036	4.329
11	Fwd Planes End	0.075	0.807	0.0036	1.968
				Σ	391.484

$$R_{app} = 391.484 \text{ N}$$
$$0.391 \text{ kN}$$

$$R_t = R_{bh} + R_{app}$$
$$= 14.944 \text{ kN}$$



Tugas Akhir MN 141581

Nama : Bagus Gelis Pratama Putra

NRP : 4111100026

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

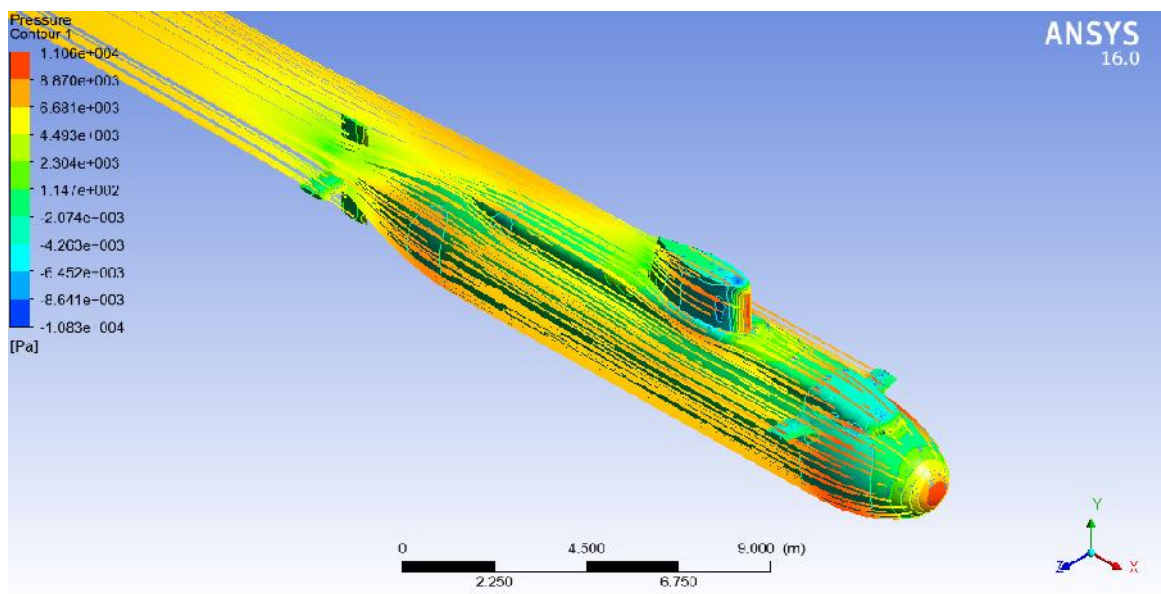
CFD

STUDI DESAIN *MIDGET SUBMARINE* UNTUK APLIKASI
INTELIJEN DAN MONITORING PERAIRAN INDONESIA

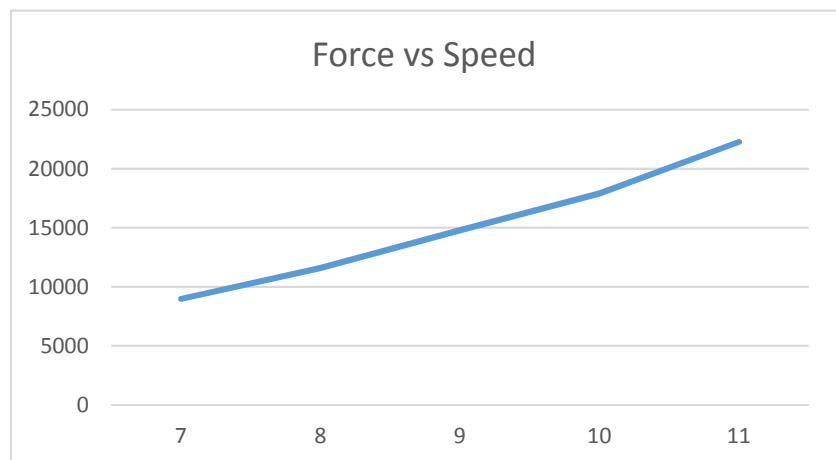
VII.3. Cek Hambatan Menggunakan CFD

Analisa yang dilakukan menggunakan software Ansys CFX versi 16. Berikut hasil *running* yang telah dilakukan :

VII.3.1. Hambatan Submerged



Speed (Knot)	Force (Newton)
7	8971.69
8	11589.8
9	14796.1
10	17897.9
11	22262.6



Nilai hambatan yang diambil adalah yang terbesar,


Rt at 9 Knot :

Rt sub = 15.688 kN

Rt surf = 14.944 kN

Rt CFD = 14.796 kN

Rt = 15.688 kN

	Tugas Akhir MN 141581	Nama :	Bagus Gelis Pratama Putra
	Institut Teknologi Sepuluh Nopember <i>BHP</i>	NRP :	4111100026
		STUDI DESAIN <i>MIDGET SUBMARINE</i> UNTUK APLIKASI INTELIJEN DAN MONITORING PERAIRAN INDONESIA	

VIII. 4. Perhitungan BHP

a. Perhitungan EHP

EHP = $R_t \times V$

Rt = 15.68795 kN

(estimasi)

V = 9 knot

= 4.6296

EHP = 336.243 kN m/s2

= 247.3067 HP

1 knot = 0.5144 ft/s

1 HP = 0.7355 kW

b. Perhitungan PC

$PC = \eta_H \eta_R \eta_O \eta_N$

η_H = hull efficiency

\approx 1

η_R = relative rotative ef.

\approx 0.95

η_O = Open Water Eficency

\approx 0.75

η_N = machinery efficiency

\approx 0.95

(Concepts In submarine Design,hal-255)

PC = 0.676875

c. Perhitungan SHP

SHP = EHP / PC

SHP = 365.3654 HP

(ref : Parametric Design chapter 11, hal.11-33)

$ht = \prod (1 - li)$

li = 0.01 for each gear reduction

li = 0.005 for the trusth bearing

li = 0.01 for a reversing gear path

$ht = (1 - 0,010) \times (1 - 0,005) \times (1 - 0,010)$

= 0.9752

d. Perhitungan BHP

BHP = SHP / ht

= 374.6571 HP

= 275.5603 kW

Item	Value
Motor Powering	343.75589
BHP	275.5603

Criteria	Value
Motor Pow \geq BHP	Memenuhi

**Tugas Akhir MN 141581**

Nama : Bagus Gelis Pratama Putra

NRP : 4111100026

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

*Perhitungan Berat*STUDI DESAIN *MIDGET SUBMARINE* UNTUK
APLIKASI INTELIJEN DAN MONITORING PERAIRAN
INDONESIA**IX. Berat Baja****IX.1. Tebal Pelat**

Tabel Konversi

1 atm =	16.6959 Psi
1 atm =	101325 Pa
1 pa =	0.000145038 Psi
1 m =	39.370 inch
1 m =	3.281 ft
1 ft =	0.3048 m

a. Perhitungan Design Pressure

h = kedalaman maksimum (m)

= 150 m

= 492.126 ft

 ρ = 1025 kg/m³g = 9.81 m/s²

P abs = Absolute pressure (design pressure)

P atm = tekanan atmosfer

= 1 atm

= 101325 pa

P abs = P atm + ρgh

= 1609612.5 Pa

= 233.4549778 Psi

pendekatan lain ;

setiap kedalaman nya bertambah 100 ft maka tekanannya bertambah 44 Psi

100 ft = 44 Psi

492.126 ft = 216.535 Psi

maka Design Pressure untuk pressure hull yg diambil adalah yang terbesar;

P = 233.455 Psi

b. Perhitungan Allowable Stress

Pada kapal selam ini menggunakan material HY-80 , yang berarti High Yield material dengan yield strength 80000 psi, dengan densitas 7746 kg/m³.

η_e = usage factor

Type of Stress	η_e
Compressive or shear buckling	0.8
Axial and/or bending stresses	0.8
Shear stresses	0.53

$f = 80000 \text{ Psi}$ (HY-80 material)

$$\sigma = f_a$$

$$f_a = f \eta_e$$

$$= 64000 \text{ psi}$$

(ABS - Underwater Vehicles 2015 , hal 145)

c. Perhitungan Tebal Pelat

D = Diameter Pressure Hull

$$= 3 \text{ m}$$

$$= 9.843 \text{ ft}$$

$$t = \frac{P \times D}{2 \sigma}$$

$$= 0.017951448 \text{ ft}$$

$$= 0.005471601 \text{ m}$$

$$= 5.472 \text{ mm}$$

$$t_{\min} = 0.250 \text{ inch}$$

$$= 6.40 \text{ mm}$$

(ABS - Underwater Vehicles 2015 , hal 145)

$$t = 6.400 \text{ mm}$$

t_k = Corrosion Factor

$$= 2 \text{ mm}$$

$$t = t_{\min} + t_k$$

$$= 8.400 \text{ mm}$$

$$= 9.000 \text{ mm} \quad (\text{pembulatan})$$

IX.2. Perhitungan Berat Pressure Hull dan Struktur Equistrong

(dari buku : *the theory of submarine design*)

a. Perhitungan Berat Spesifik PH teoritis

$$g_{PH}^T = 2\rho_{PH} \frac{t + \frac{F}{l} \left(1 \pm \frac{y_0}{r_{PH}} \right)}{r_{PH}}$$

t_{ph} = berat spesifik PH teoritis

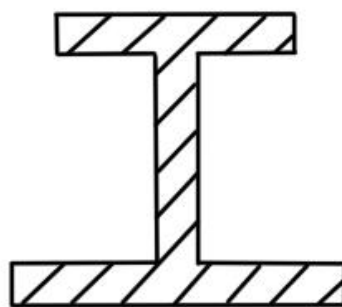
ρ_{ph} = massa jenis material dipakai (ton/m³)
= 7.746 t/m³ (HY-80)

r_{PH} = Jari-jari PH
= 1.5 m

t = tebal plat PH
= 9 mm
= 0.009 m

l = jarak antar frame
= 0.5 m

F = Luas frame
= 1600 mm²
= 0.0016 m²



60 x 10

100 x 10

(bentuk frame diasumsikan sbb)

y_0 = offset frame neutral axis
= 55 mm
= 0.055 m

t_{ph} = 0.121 t/m³

b. Perhitungan Berat Spesifik PH

$$g_{PH} = k_{SSR} \cdot k_{LSR} \cdot g_{PH}^T$$

ρ_{ph} = berat spesifik PH (t/m³)
 K_{ssr} = koefisien ketebalan PH (1.02 ~ 1.04)
= 1.02

K_{lsr} = koefisien penguat (1.05 ~ 1.22)
= 1.05

t_{ph} = 0.121 t/m³

ρ_{ph} = 0.13 t/m³

c. Berat Pressure Hull

$$P_{ph} = \rho_{ph} \times V_{ph}$$

P_{ph} = Berat Pressure Hull (ton)

ρ_{ph} = berat spesifik PH (t/m³)
= 0.13 t/m³

V_{ph} = Volume Pressure Hull (m³)
= 88.393 m³

$$P_{ph} = 11.49 \text{ ton}$$

d. Struktur equistrong

Struktur equistrong merupakan bagian-bagian PH termasuk :

- Sekat Sekat paling ujung dari PH (end bulkheads)
- tangki-tangki bertekanan (pressure tanks)
- bangunan ata bertekanan (pressure superstructure)

(ibadurahman,2015)

$$P_{EST} = \rho_{EST} D_0$$

P_{EST} = berat equistrong

ρ_{EST} = indeks berat equistrong (0.03 ~ 0.04)
= 0.035

D_0 = Normal Displasemen
= 120.645 ton

$$P_{EST} = 4.223 \text{ ton}$$

e. Berat sekat sekat paling ujung

$$P_{ENB} = g_{ENB}^{F(AF)} (2 S_{F(AF)})$$

P_{ENB} = Berat sekat paling ujung

$g_{F(AF) ENB}$ = berat spesifik sekat
= 0.206 t/m²

$S_{F(AF)}$ = luas sekat penutup
= 8.125 m²

$$P_{ENB} = 1.674 \text{ ton}$$

f. Berat tangki-tangki bertekanan

$$P_{EGT} = \sum_1^n g_{EGT} \cdot V_{EGT}$$

P EGT = berat tangki-tangki bertekanan

g EGT = (berat spesifik rata2 tangki)
= 0.05 t/m³

V EGT = volume tangki bertekanan
= 6 m³

n = jumlah tangki
= 4

P EGT = 1.2 ton

g. Berat Total PH dan struktur equistrong

$$P_{PH\&eq} = P_{PH} + P_{ENB} + P_{EGT}$$

P ph&eq = berat total PH dan struktur equistrong
= 15.714 ton

IX.3. Perhitungan Berat Light Hull

a. Berat kotor LH

$$P_{LH} = p_{LH} \cdot D_0 \approx 0,16 \div 0,18 D_0$$

p LH = koefisien LH terhadap Do (0.16 ~ 0.18)
= 0.17

Do = Normal Displasemen
= 120.645

P LH = 20.510 ton

b. Berat Main Ballast Tank

$$P_{MBT} = g_{MBT} \frac{k_{MBT}}{\rho} \varepsilon D_0$$

g MBT = Berat Spesifik MBT (0.13 ~ 0.16)
= 0.15

k MBT = koefisien plat dsb (1.05 ~ 1.10)
= 1.07

ρ = masa jenis air laut
 = 1.025 t/m³
 ϵ = reverse of buoyancy
 = 0.15
 D_0 = 120.645 ton

P MBT = 2.834 ton

c. Berat struktur lainnya

$$P_{OTH} = p_{OTH} D_0 = (0,04 \sim 0,05) D_0$$

p_{OTH} = berat spesifik struktur lainnya
 = 0.045

P OTH = 5.429 ton

d. Berat Haluan (FE)

$$P_{FE} = g_{FE} V_{FE}^{2/3} = g'_{FE} S_{FE}$$

P_{FE} = berat haluan

g'_{FE} = berat spesifik (0.22 ~ 0.28)
 = 0.25 t/m²

S_{FE} = Luas [ermukaan basah haluan
 = 24.231 m²

P FE = 6.058 ton

f. Berat buritan (AFE)

$$P_{AFE} = g_{AFE} V_{AFE} + g_{ST} S_{ST} + P_{BOS}$$

V_{AFE} = volume buritan
 = 19.619 m³

g_{AFE} = FE = Berat spesifik
 = 1.15 t/m³

g_{ST} = berat shaft tail
 = 1.75 ton

P_{bos} = berat bossing
 = 0.262 ton

P AFE = 24.574 ton

g. Berat Bangunan Atas

$$P_{SST} = g_{SST} V_{SST}$$

V SST = Volume bangunan atas

$$= 9.46 \text{ m}^3$$

g SST = berat spesifik bangunan atas

$$= 0.263 \text{ t/m}^3$$

$$P_{sst} = 2.488 \text{ ton}$$

h. Berat Sail

$$P_{SAIL} = g_{SAIL} V_{SAIL}^{2/3} = g'_{SAIL} S_{SAIL}$$

S sail = luasan sail

$$= 11.378 \text{ m}^2$$

g' sail = berat spesifik sail (0.13 ~ 0.15)

$$= 0.13$$

$$P_{sail} = 1.479 \text{ ton}$$

i. Berat control surface

Nama	g' (t/m ²)	g' (use)	S (m ²)	P (ton)
V. Rudder	0.90 ~ 1.05	0.9	6.028	5.425
F. Hydroplanes	1.5 ~ 1.6	1.5	2.887	4.331
A. Hydroplanes	0.80 ~ 1.05	0.8	5.901	4.721
P CF =				14.477

j. Berat Struktur OH lainnya

$$P_{OTH} = P_{FE} + P_{AFE} + P_{SSt} + P_{Sail} + P_{CF}$$

$$= 49.076 \text{ ton}$$

k. Berat OH

$$P_{OH} = P_{MBT} + P_{OTH}$$

$$P_{OH} = 51.909 \text{ ton}$$

l. Berat sekat kompartemen

$$P_{BHD} = n_{BHD} g_{BHD} (P'_{D'}; d_{BHD}) \frac{\pi}{4} d_{BHD}^2$$

n BHD = Jumlah sekat kompartemen

$$= 4$$

d BHD = diameter sekat
 = 3 m
 P' D' = Design Pressure sekat
 = 1 Mpa
 g BHD = Berat Spesifik sekat
 = 0.206 t/m

P BHD = 5.822 ton

m. Berat Struktur hull internal

$$P_{IH} = P_{LT} + P_{DEC} = g_{LT} \sum_1^n V_{LT} + g'_{DC} \sum_1^n A_{DC}$$

g LT = berat spesifik tangki internal (0.18 ~ 0.19)
 = 0.18 t/m³
 g' DC = berat spesifik geladak (0.04 ~ 0.09)
 = 0.06 t/m³

V LT = jumlah volume tangki2 internal
 = 15 m³
 A DC = jumlah keseluruhan luas geladak
 = 32.627 m²

P IH = 4.658 ton

n. Total Berat Light Hull

$$P_{LH} = P_{OH} + P_{BHD} + P_{IH}$$

P OH = 51.909 ton
 P BHD = 5.822 ton
 P IH = 4.658 ton

P LH = 62.388 ton

IX.4 Berat Sitem-sistem pada lambung

a. Berat Steering Gears

$$P_{SG} = p_{SG} D_0 = (0.015 - 0.02) D_0$$

p SG = Indeks Berat SG (0.015 ~ 0.02)
 = 0.015
 Do = Normal Displasemen
 = 120.645 ton
 P SG = berat steering gears
 = 1.810 ton

b. Berat Compressed Air & Gas System

$$P_{AGS} = p_{AGS} D_0 = (0.022 - 0.027) D_0$$

$$\begin{aligned} p_{AGS} &= \text{berat indeks AGS (0.022 ~ 0.027)} \\ &= 0.022 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_{AGS} &= \text{berat sistem udara \& gas bertekanan} \\ &= 2.654 \text{ ton} \end{aligned}$$

c. Berat Life Support System

$$P_{HS} = p_{HS} D_0 = (0.020 - 0.025) D_0$$

$$\begin{aligned} p_{HS} &= \text{berat indeks HS (0.020 ~ 0.025)} \\ &= 0.02 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_{HS} &= \text{berat life support} \\ &= 2.413 \text{ ton} \end{aligned}$$

d. Berat Water System

$$P_{WS} = p_{WS} D_0 = (0.009 - 0.012) D_0$$

$$\begin{aligned} p_{WS} &= \text{berat indeks WS (0.009 ~ 0.012)} \\ &= 0.009 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_{WS} &= \text{Berat water system} \\ &= 1.086 \text{ ton} \end{aligned}$$

e. Berat Diving System

$$P_{DS} = p_{DS} D_0 = (0.003 - 0.009) D_0$$

$$\begin{aligned} p_{DS} &= \text{Berat indeks DS} \\ &= 0.003 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_{DS} &= \text{Berat diving System} \\ &= 0.362 \text{ ton} \end{aligned}$$

f. Berat Hydraulic System

$$P_{HS} = p_{HS} D_0 = (0.004 - 0.006) D_0$$

$$\begin{aligned} p_{HS} &= \text{berat indeks HS} \\ &= 0.004 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_{HS} &= \text{berat hydraulic system} \\ &= 0.483 \text{ ton} \end{aligned}$$

g. Berat Total Sistem Pada Lambung

$$P_{GS} = P_{SG} + P_{AGS} + P_{HS} + P_{WS} + P_{DS} + P_{HS}$$

P SG =	1.810 ton	
P AGS =	2.654 ton	
P HS =	2.413 ton	(lifing support)
P WS =	1.086 ton	
P DS =	0.362 ton	
P HS =	0.483 ton	(hydraulic system)
P GS =	8.807 ton	

IX.5 Besat sistem Pembangkit Daya

a. Berat Diesel Generator

P DG = berat Diesel Generataor	
=	4327 kg
=	4.327 ton
	(sudah ditentukan)

b. Berat Electric Motor Propulssion

P EPM = berat electric motor propulssion (359 kW)	
=	733 kg
=	0.733 ton
	(sudah ditentukan)

c. Berat Shafting

$$P_{SH} = p_{SH} N_{EPM}$$

p SH = berat spesifik shafting	
=	4 kg/kW

N EPM = Daya motor propulsi	
=	350 kW

P SH = berat shafting	
=	1400 kg
=	1.4 ton

d. Berat Penyimpanan Battery

P SB = berat penyimpanan battery	
=	5600 kg
=	5.6 ton
	(sudah ditentukan)

e. Berat bahan bakar & pelumas

Volume FO = 3.5357 m³
ρ FO = 0.84 ton/m³
berat FO = 2.97 ton

Volume LO = 1.179 m³
ρ LO = 0.92 ton/m³
berat LO = 1.084 ton

berat FO + LO = 4.054 ton

f. Total berat PP

$$\begin{aligned} P_{PP} &= P_{DGP} + P_{EPM} + P_{SH} + P_{SB} + P_{FO} \\ &= 16.114 \text{ ton} \end{aligned}$$

IX.6 Berat Sistem Elektrik & Kabel

$$P_{EEG} = p_{EEG} D_0$$

p EEG = berat spesifik EEG (0.04 ~ 0.06)
= 0.06

D₀ = Normal displasemen
= 120.645 ton

P EEG = 7.239 ton

IX.7 Berat Konsumsi & awak kapal , Margin Displasemen, dan Ballast Tetap

a. Berat personil & konsumsi

$$P_{SCR} = p_{PER} n_{PER} + (P_{PROV} + P_{DRW}) A n_{PER}$$

p Per = berat personil & bawaan (100 ~ 125 kg)
= 100 kg

n Per = jumlah personil
= 8 orang

P Prov = jatah makanan
= 3.5 kg / hari

P DRW = jatah drink water
= 6 liter

A = lama pelayaran dalam hari
= 5

P SCR = berat personil & konsumsi
= 1040 kg
= 1.04 ton

b. Displasemen margin

$$P_{DM} = p_{DM} D_0$$

p DM = berat spesifik displasemen margin (0.030 ~ 0.050)
= 0.03

P DM = berat displasemen margin
= 3.619 ton

c. Berat Ballas Tetap

$$P_{BAL} = p_{BAL} D_0$$

p BAL = berat spesifik ballast tetap (0.02 ~ 0.04)
= 0.04

P BAL = berat ballast tetap
= 4.826 ton

d. Berat SCR , DM dan Solid Ballast

$$P_{OTH} = P'_{SCR} + P_{DM} + P_{BAL}$$

P' SCR = 1.04 ton

P DM = 3.619 ton

P BAL = 4.826 ton

P OTH = 9.485 ton

IX.8 Berat Total Rancangan Kapalselam

$$D_0 = \sum_{i=1}^n P_i$$

$$\sum_{i=1}^n P_i = P_{PH\&eq} + P_{LH} + P_{GS} + P_{PP} + P_{EEG} + P_{TS} + P_{OTH}$$

a. Berat total rancangan kapalselam

P PH&EQ =	15.714 ton	
P LH =	62.388 ton	
P GS =	8.807 ton	
P PP =	16.114 ton	
P EEG =	7.239 ton	
P TS =	0 ton	(tanpa sistem torpedo)
P OTH =	9.485 ton	

$$\begin{aligned}\sum P_i &= \text{berat total kapal rancangan} \\ &= 119.747 \text{ ton}\end{aligned}$$

b. Koreksi berat

$$\frac{\sum_{i=1}^n P_i - (D_0)}{\sum_{i=1}^n P_i} \times 100\%$$

koreksi berat = perbedaan koreksi berat tidak lebih dari 1%

(Ibadurahman , 2015)

$$= 1\%$$

$$D_0 = 120.645 \text{ ton}$$

$$\sum P_i = 119.747 \text{ ton}$$

$$\text{koreksi berat} = (\sum P_i - D_0) / \sum P_i \times 100\%$$

$$= 0.75\%$$

Memenuhi

Rekapitulasi Berat

Berat Pressure Hull & Equistrong

NAMA	Berat (ton)
P _{PH}	11.491
P _{PNB}	1.674
P _{EGT}	1.200
$\Sigma =$	14.365

Rekap Berat Light Hull

Item	M (ton)
MBT Aft	1.700
MBT Fwd	1.133
Haluan	14.058
Buritan	16.574
Deck	2.488
Sail	1.479
V. Rudder	5.425
F. Hydroplane	4.331
A. Hydroplane	4.721
Bulkhead	5.822
Struktur Intrn	4.658
$\Sigma =$	62.388

Rekap Berat Sistem Pada Lambung

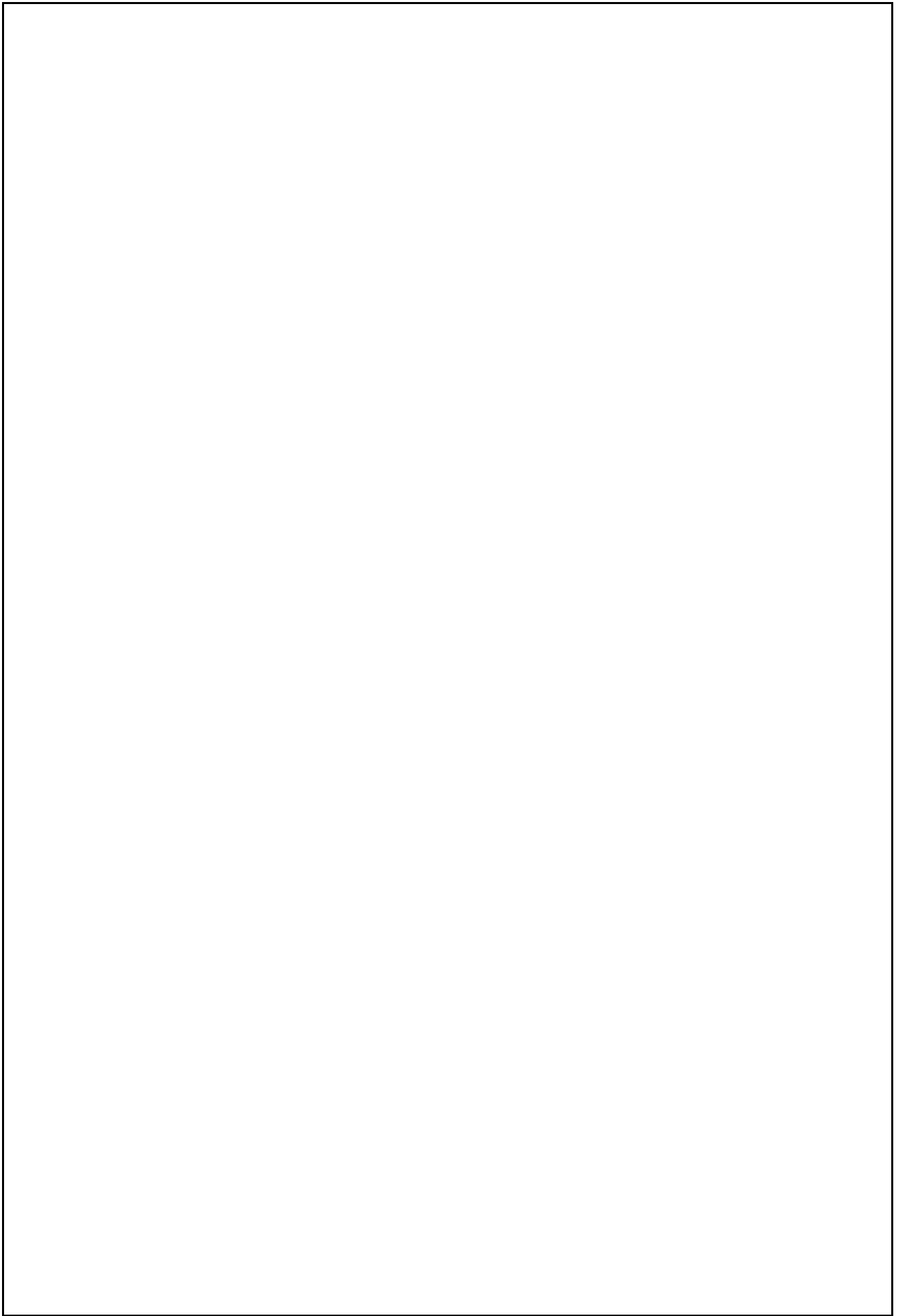
Item	M (ton)
Steering Gear	1.810
Air & Gas Sys	2.654
Life Sup Sys	2.413
Water System	1.086
Diving System	0.362
Hydraulic Sys	0.483
$\Sigma =$	8.807


Rekap Berat Sistem Pembangkit Daya

Item	M (ton)
Genset	4.327
Electric Prop	0.733
Shafting	1.400
Battery	5.600
Fuel Oil	2.970
Lub Oil	1.084
Elektrik-Kabel	7.239
$\Sigma =$	23.353

Rekap Titik Berat Kru dan Konsumsi

Item	M (ton)
Personil-Cons	1.040
Solid Ballast	4.826
Disp Margin	3.619
$\Sigma =$	9.485



	Tugas Akhir MN 141581	Nama :	Bagus Gelis Pratama Putra
		NRP :	4111100026
	Institut Teknologi Sepuluh Nopember <i>Titik Berat</i>	STUDI DESAIN <i>MIDGET SUBMARINE</i> UNTUK APLIKASI INTELIJEN DAN MONITORING PERAIRAN INDONESIA	

X. Perhitungan Titik Berat

X.1. Titik Berat Pressure Hull & Equistrong

- KG Pressure Hull & Equistrong

KG ph&e = 0.5 x D ph

D ph = 3 m

KG ph&e = 1.5 m

- LCG Pressure Hull & Equistrong

LCG ph&e = L aft + (0.5 x L ph)

L aft = 4.5 m

L ph = 12.5 m

LCG ph&e = 10.75 m

- Berat Pressure Hull & Equistrong

W ph&e = 15.714 ton

X.2. Titik berat Light Hull

a. MBT aft

- KG MBT aft

KG MBTaft = 0.3 x D

= 0.9 m

- LCG MBT aft

LCG MBTaft = 2/3 * L aft

L MBT aft = 4.5 m

LCG MBT aft = 3 m

- Berat MBT Aft

W MBT aft = 1.700 ton

b. Titik berat MBT depan

- KG MBT fwd

- Berat MBT fwd

$$\begin{aligned} \text{KG MBT fwd} &= 0.3 \times D \\ &= 0.9 \text{ m} \end{aligned}$$

$$W \text{ MBT fwd} = 1.133 \text{ ton}$$

- LCG MBT aft

$$\text{LCG MBT fwd} = L \text{ Mbt AFT} + L \text{ ph} + 1 + 1/3 * L \text{ MBT fwd}$$

$$L \text{ MBT fwd} = 4.5 \text{ m}$$

$$L \text{ ph} = 12.5 \text{ m}$$

$$L \text{ MBT fwd} = 3 \text{ m}$$

$$\text{LCG MBTfwd} = 19 \text{ m}$$

c. Titik berat haluan

- KG Haluan

- Berat Haluan

$$\text{KG FE} = 0.5 \times D$$

$$W \text{ haluan} = 14.058 \text{ ton}$$

$$D = 3 \text{ m}$$

$$\text{KG haluan} = 1.5 \text{ m}$$

- LCG Haluan

$$\text{LCG FE} = L \text{ Mbt AFT} + L \text{ ph} + 1 + 1/3 * L \text{ MBT FE}$$

$$L \text{ MBT aft} = 4.5 \text{ m}$$

$$L \text{ ph} = 12.5 \text{ m}$$

$$L \text{ FE} = 3 \text{ m}$$

$$\text{LCG MBT aft} = 19 \text{ m}$$

d. Titik Berat Buritan

- KG Buritan

- Berat Haluan

$$\text{KG AFE} = 0.5 \times D$$

$$W \text{ buritan} = 16.574 \text{ ton}$$

$$D = 3 \text{ m}$$

$$\text{KG AFE} = 1.5 \text{ m}$$

- LCG Buritan

$$\text{LCG AFE} = 2/3 \times \text{L Aft}$$

$$\text{L Aft} = 4.5 \text{ m}$$

$$\text{LCG AFE} = 3 \text{ m}$$

e. Berat bangunan atas

- KG deck

$$\text{KG deck} = D + (\text{H deck} \times 0.5)$$

$$D = 3 \text{ m}$$

$$\text{H deck} = 0.3 \text{ m}$$

$$\text{KG deck} = 3.15 \text{ m}$$

- LCG deck

$$\text{LCG deck} = \text{L aft deck} + (0.75 \times \text{L deck})$$

$$\text{L aft deck} = 4.1 \text{ m}$$

$$\text{L deck} = 15.5 \text{ m}$$

$$\text{LCG deck} = 15.725$$

- Berat Deck

$$\text{W deck} = 2.488 \text{ ton}$$

f. Titik berat sail

- KG Sail

$$\text{KG sail} = D + \text{H deck} + (0.44 \times \text{H sail})$$

$$D = 3 \text{ m}$$

$$\text{H deck} = 0.3 \text{ m}$$

$$\text{H sail} = 1.3 \text{ m}$$

$$\text{KG sail} = 3.872 \text{ m}$$

- LCG Sail

$$\text{LCG sail} = \text{L aft Sail} + (2/3 \times \text{L Sail})$$

$$\text{L aft sail} = 11 \text{ m}$$

$$\text{L sail} = 3.5 \text{ m}$$

$$\text{LCG sail} = 13.333 \text{ m}$$

g. Titik berat control surface

V. Rudder

- KG V.Rudder

- Berat V.Rudder

$$\text{KG V.Rudder} = (\text{H v.rudder}) / 2$$

$$\text{W V.Rudder} = 5.425 \text{ ton}$$

$$\text{H v.rudder} = 3 \text{ m}$$

$$\text{KG V.Rudder} = 1.5 \text{ m}$$

- LCG V.rudder

$$\text{LCG V.Rudder} = \text{L aft} + (\text{L Rudder} \times 0.6)$$

$$\text{L aft} = 1 \text{ m}$$

$$\text{L Rudder} = 0.95 \text{ m}$$

$$\text{LCG V rudder} = 1.57 \text{ m}$$

F.Hydroplanes

- KG F.Hplanes

$$\text{KG F.Hplanes} = \text{H Lo.H planes} + (\text{H H.planes}/2)$$

$$\text{H Lo. H Planes} = 0.437 \text{ m}$$

$$\text{H H.planes} = 0.115 \text{ m}$$

- Berat F. Hydroplanes

$$\text{KG H.planes} = 0.443 \text{ m}$$

$$\text{W F.Hplanes} = 4.331 \text{ ton}$$

- LCG F.Hplanes

$$\text{LCG F.Hplanes} = \text{L Aft} + (\text{L F.Hplanes} \times 0.6)$$

$$\text{L Aft} = 17 \text{ m}$$

$$\text{L F.Hplanes} = 1 \text{ m}$$

$$\text{LCG F.Hplanes} = 17.6 \text{ m}$$

A.Hydroplanes

-KG A.Hplanes

$$\text{KG A.Hplanes} = \text{H Lo.H planes} + (\text{H H.planes}/2)$$

$$\text{H Lo.Hplanes} = 1.42 \text{ m}$$

$$\text{H H.planes} = 0.15 \text{ m}$$

- Berat A.Hplanes

$$\text{W A.Hplanes} = 4.721 \text{ ton}$$

$$\text{KG A.Hplanes} = 1.495 \text{ M}$$

-LCG A.Hplanes

$$\text{LCG A.Hplanes} = \text{L Aft} + (\text{L A.Hplanes} \times 0.6)$$

$$\text{L Aft} = 1 \text{ m}$$

$$\text{L A.Hplanes} = 0.99 \text{ m}$$

$$\text{LCG A.Hplanes} = 1.594 \text{ m}$$

h. Titik berat sekat kompartemen

- KG Bulkhead

- Berat Bulkhead

$$\text{KG BHD} = 0.5 \times \text{D BHD}$$

$$\text{W BHD} = 5.822 \text{ ton}$$

$$\text{D BHD} = 3 \text{ m}$$

$$\text{KG BHD} = 1.5 \text{ m}$$

- LCG Bulkhead

$$\text{LCG BHD} = \text{L aft} + (0.5 \times \text{L bhd})$$

$$\text{L aft} = 10 \text{ m}$$

(panjang AP ke sekat paling belakang)

$$\text{L bhd} = 5.5 \text{ m}$$

(panjang antar sekat paling belakang dan depan)

$$\text{LCG BHD} = 12.75 \text{ m}$$

i. Titik berat struktur hull internal

- KG IH

- Berat Struktur Internal

$$\text{KG IH} = 0.25 \times \text{D}$$

$$\text{W IH} = 4.658 \text{ ton}$$

$$\text{D} = 3 \text{ m}$$

$$\text{KG IH} = 0.75 \text{ m}$$

- LCG IH

$$\text{LCG IH} = 0.5 \times \text{LOA}$$

$$\text{LOA} = 28 \text{ m}$$

$$\text{LCG IH} = 14 \text{ m}$$

$$\text{berat LH} = 62.388$$

X.3 Titik Berat Sistem-Sistem Pada Lambung

a. Berat Steering Gears

- KG Steering Gears

$$KG\ SG = 0.5 \times D$$

$$D = 3\ m$$

$$KG\ SG = 1.5\ m$$

- LCG Steering Gears

$$LCG\ SG = L\ aft + (0.2 \times L\ SG)$$

$$L\ Aft = 1.55\ m$$

$$L\ SG = 2.94\ m$$

$$LCG\ SG = 2.138\ m$$

- Berat Steering Gears

$$W\ SG = 1.810\ ton$$

b. Titik Berat Air & Gas System

- KG Air & Gas System

$$KG\ AGS = Dia\ Tube / 2 + H\ lo$$

$$Dia\ Tube = 0.24\ m$$

$$H\ lo = 3\ m$$

$$KG\ AGS = 3.12\ m$$

- LCG Air & Gas System

$$LCG\ AGS = L\ Aft + (L\ AGS / 2)$$

$$L\ Aft = 14.5\ m$$

$$L\ AGS = 3\ m$$

$$LCG\ AGS = 16\ m$$

- Berat Air & System Gas

$$W\ AGS = 2.654\ ton$$

c. Titik Berat Life Support System

- KG Life Support System

$$KG\ HS = H\ db + (H\ room \times 1/3)$$

$$H\ db = 1\ m$$

- Berat Life Support System

$$W\ HS = 2.413\ ton$$

$$H_{\text{room}} = 2 \text{ m}$$

$$KG_{\text{HS}} = 1.667 \text{ m}$$

- LCG Life Support System

$$LCG_{\text{HS}} = L_{\text{aft}} + (L_{\text{room}} / 2)$$

$$L_{\text{aft}} = 10 \text{ m}$$

$$L_{\text{room}} = 1.5 \text{ m}$$

$$LCG_{\text{HS}} = 10.75 \text{ m}$$

d. Titik Berat Water System

- KG Water System

$$KG_{\text{WS}} = H_{\text{ws}} \times (2/3)$$

$$H_{\text{WS}} = 1 \text{ m}$$

$$KG_{\text{WS}} = 0.667 \text{ m}$$

- LCG Water System

$$LCG_{\text{WS}} = L_{\text{aft}} + (L_{\text{WS}} \times 0.5)$$

$$L_{\text{Aft}} = 9.5 \text{ m}$$

$$L_{\text{WS}} = 0.5 \text{ m}$$

$$LCG_{\text{WS}} = 9.75 \text{ m}$$

- Berat Diving System

$$W_{\text{WS}} = 1.086 \text{ ton}$$

e. Titik Berat Diving System

- KG Diving System

$$KG_{\text{DS}} = H_{\text{ws}} \times (2/3)$$

$$H_{\text{DS}} = 1 \text{ m}$$

$$KG_{\text{DS}} = 0.667 \text{ m}$$

- LCG Diving System

$$LCG_{\text{DS}} = L_{\text{aft}} + (L_{\text{WS}} \times 0.5)$$

$$L_{\text{Aft}} = 9 \text{ m}$$

$$L_{\text{DS}} = 0.5 \text{ m}$$

$$LCG_{\text{DS}} = 9.25 \text{ m}$$

- Berat Diving System

$$W_{\text{WS}} = 0.362 \text{ ton}$$

f. Titik Berat Hydraulic System

- KG Diving System

$$KG_{HS} = H_{HS} \times (2/3)$$

$$H_{HS} = 1 \text{ m}$$

$$KG_{HS} = 0.667 \text{ m}$$

- LCG Hydraulic System

$$LCG_{HS} = L_{aft} + (L_{HS} \times 0.5)$$

$$L_{Aft} = 8.5 \text{ m}$$

$$L_{HS} = 0.5 \text{ m}$$

$$LCG_{HS} = 8.75 \text{ m}$$

- Berat Hyrdaulic System

$$W_{WS} = 0.483 \text{ ton}$$

$$\text{berat System} = 8.807 \text{ ton}$$

X.4. Titik Berat Sistem Pembangkit Daya

a. Titik Berat Diesel Generator

- KG Diesel Generator

$$KG_{DG} = H_{db} + (0.35 \times H_{DG})$$

$$H_{db} = 1 \text{ m}$$

$$H_{DG} = 1.556 \text{ m}$$

$$KG_{DG} = 1.545 \text{ m}$$

- LCG Diesel Generator

$$LCG_{DG} = L_{aft} + (L_{DG} \times 0.5)$$

$$L_{aft} = 7.5 \text{ m}$$

$$L_{DG} = 3.324 \text{ m}$$

$$LCG_{DG} = 9.162 \text{ m}$$

- Berat Diesel Generator

$$W_{DG} = 4.327 \text{ ton}$$

b. Titik Berat Electric Propulsion

- KG Electric Propulsion

$$KG_{DG} = H_{db} + H_{seating} + (0.35 \times H_{EP})$$

$$H_{db} = 1 \text{ m}$$

$$H_{seating} = 0.358 \text{ m}$$

$$H_{EP} = 0.91 \text{ m}$$

- Berat Electric Propulsion

$$W_{DG} = 0.733 \text{ ton}$$

$$KG\ DG = 1.677\ m$$

- LCG Electric Propulsion

$$LCG\ EP = L\ aft + (L\ DG \times 0.5)$$

$$L\ aft = 4.4\ m$$

$$L\ EP = 1.164\ m$$

$$LCG\ EP = 4.982\ m$$

c. Titik Berat Shafting

- KG Shafting

$$KG\ SH = (D\ sh \times 0.5) + H\ lo$$

$$D\ sh = 0.1\ m$$

$$H\ lo = 1.45\ m$$

$$KG\ SH = 1.5\ m$$

- LCG Shafting

$$LCG\ SH = L\ Boss + (0.5 \times L\ Shaft)$$

$$L\ Boss = 0.65\ m$$

$$L\ Shaft = 4\ m$$

$$LCG\ SH = 2.65\ m$$

- Berat Shafting

$$W\ SH = 1.4\ ton$$

d. Titik Berat Penyimpanan Battery

- KG Penyimpanan Battery

$$KG\ SB = H\ Keel + (H\ batt \times 2/3)$$

$$H\ Keel = 0.25\ m$$

$$H\ Batt = 0.7\ m$$

$$KG\ SB = 0.717\ m$$

- Berat Penyimpanan Battery

$$W\ SB = 5.6\ ton$$

(tinggi susunan Battery)

- LCG Penyimpanan Battery

$$LCG\ SB = L\ aft + (0.5 \times L\ Batt)$$

$$L\ aft = 10.5\ m$$

L batt = 5 m
LCG SB = 14.5 m

e. Titik Berat Bahan Bakar & Pelumas

Bahan Bakar

- KG Fuel Oil

- Berat Fuel Oil

$$KG\ FO = H\ FO \times 2/3$$

$$W\ SB = 2.97\ ton$$

H FO = 1 m
KG FO = 0.667 m

-LCG Fuel Oil

$$LCG\ FO = L\ aft + (0.5 \times L\ FO)$$

L aft = 16.5 m
L FO = 0.5 m

$$LCG\ FO = 16.75\ m$$

Pelumas

- KG Lubricating Oil

- Berat Lubricating Oil

$$KG\ LO = H\ LO \times 2/3$$

$$W\ SB = 1.084\ ton$$

H LO = 1 m
KG LO = 0.667 m

-LCG Lubricating Oil

$$LCG\ LO = L\ aft + (0.5 \times L\ LO)$$

L aft = 8.5 m
L FO = 0.5 m

$$LCG\ FO = 8.75\ m$$

$$\text{berat sistem daya} = 16.114$$

X.5. Titik Berat Sistem Elektrik & Kabel

- KG Sistem Elektrik & Kabel

- Berat Sistem Elektrik & Kabel

$$KG\ EEG = 0.6 \times Dia$$

$$W\ EEG = 7.239\ ton$$

Dia = 3 m
KG EEG = 1.8 m

- LCG Sistem Elektrik & Kabel

$$LCG\ EEG = L\ aft + (L\ ph \times 0.5)$$

$$L\ aft = 4.5\ m$$

$$L\ ph = 12.5\ m$$

$$LCG\ EEG = 10.75\ m$$

X.6. Titik Berat Konsumsi & Awak , Ballast Tetap

a. Titik Berat Personil & Konsumsi

- KG Personil & Konsumsi

$$KG\ SCR = H\ db + H\ kursi + 0.35$$

$$H\ db = 1\ m$$

$$H\ kursi = 0.6\ m$$

$$KG\ SCR = 1.95\ m$$

- LCG Personil & Konsumsi

$$LCG\ SCR = L\ aft + (L\ ac \times 0.5)$$

$$L\ aft = 11.5\ m$$

$$L\ ac = 2\ m$$

$$LCG\ SCR = 12.5\ m$$

- Berat Personil & Konsumsi

$$W\ SCR = 1.04\ ton$$

b. Titik Berat Ballast Tetap

-KG Solid Ballast

$$KG\ bal = H\ bal \times (2/3)$$

$$H\ bal = 0.25\ m$$

$$KG\ bal = 0.167\ m$$

- Berat Solid Ballast

$$W\ bal = 4.826\ ton$$

- LCG Solid Ballast

$$LCG\ bal = L\ aft + L\ bal$$

$$L\ aft = 4.5\ m$$

$$L\ bal = 12.5\ m$$

$$LCG\ bal = 10.75\ m$$

c. Titik berat Disp Margin

KG DM = 1.5 m
LCG DM = 11.272 m

W DM = 3.619 ton

Berat OTH = 9.485

Rekap Titik Berat Total

No	Item	KG (m)	M (ton)	KG x M	LCG (m)	M (ton)	LCG x M
1	Pressure Hull	1.500	15.714	23.570	11.250	15.714	176.778
2	MBT Aft	0.900	1.700	1.530	3.000	1.700	5.101
3	MBT Fwd	0.900	1.133	1.020	19.000	1.133	21.536
4	Haluan	1.500	14.058	21.087	19.000	14.058	267.097
5	Buritan	1.500	16.574	24.861	5.000	16.574	82.871
6	Deck	3.150	2.488	7.837	15.725	2.488	39.123
7	Sail	3.872	1.479	5.727	13.333	1.479	19.722
8	V. Rudder	1.500	5.425	8.138	1.570	5.425	8.518
9	F. Hydroplane	0.443	4.331	1.917	17.600	4.331	76.217
10	A. Hydroplane	1.495	4.721	7.058	1.594	4.721	7.525
11	Bulkhead	1.500	5.822	8.732	12.750	5.822	74.225
12	Struktur Intrn	0.750	4.658	3.493	14.000	4.658	65.207
13	Steering Gear	1.500	1.810	2.715	2.138	1.810	3.869
14	Air & Gas Sys	3.120	2.654	8.281	16.000	2.654	42.467
15	Life Sup Sys	1.667	2.413	4.021	10.750	2.413	25.939
16	Water System	0.667	1.086	0.724	9.750	1.086	10.587
17	Diving System	0.667	0.362	0.241	9.250	0.362	3.348
18	Hydraulic Sys	0.667	0.483	0.322	8.750	0.483	4.223
19	Genset	1.545	4.327	6.683	9.162	4.327	39.644
20	Electric Prop	1.677	0.733	1.229	4.982	0.733	3.652
21	Shafting	1.500	1.400	2.100	2.650	1.400	3.710
22	Battery	0.717	5.600	4.013	14.5	5.600	81.200
23	Fuel Oil	0.667	2.97	1.980	17.5	2.970	51.975
24	Lub Oil	0.667	1.084	0.723	10.25	1.084	11.114
25	Elektrik-Kabel	1.800	7.239	13.030	11.2	7.239	81.073
26	Personil-Cons	1.95	1.04	2.028	12.5	1.040	13.000
27	Solid Ballast	0.167	4.826	0.804	20	4.826	96.516
28	Disp Margin	1.5	3.619339	5.429	11.272	3.619	40.797
			119.747	169.295		119.747	1357.031

92.593

$$\begin{aligned}
 KG &= \frac{\sum KG \times M}{\sum M} \\
 &= \frac{169.295}{119.747} \\
 &= 1.414 \quad \text{m (dari baseline)}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 LCG &= \frac{\sum LCG \times M}{\sum M} \\
 &= \frac{1357.031}{119.747} \\
 &= 11.332 \quad \text{m (dari AP)}
 \end{aligned}$$

$$LCB = 11.272 \text{ m}$$

$$LCG = 11.332 \text{ m}$$

$$\Delta (LCG - LCB) = 0.060 \text{ m}$$

$$LPP = 21 \text{ m}$$

$$5\% LPP = 0.21 \text{ m}$$

Memenuhi

Rekap Titik Berat Pressure Hul & Equistrong

Item	KG (m)	M (ton)	KG x M	LCG (m)	M (ton)	LCG x M
Pressure Hull	1.500	15.714	23.570	10.750	15.714	168.921

$$KG = \frac{\sum KG \times M}{\sum M}$$

$$= 1.500 \text{ m (dari baseline)}$$

$$LCG = \frac{\sum LCG \times M}{\sum M}$$

$$= 10.750 \text{ m (dri AP)}$$

Rekap Titik Berat Light Hull

Item	KG (m)	M (ton)	KG x M	LCG (m)	M (ton)	LCG x M
MBT Aft	0.900	1.700	1.530	3.000	1.700	5.101
MBT Fwd	0.900	1.133	1.020	19.000	1.133	21.536
Haluan	1.500	14.058	21.087	19.000	14.058	267.097
Buritan	1.500	16.574	24.861	5.000	16.574	82.871
Deck	3.150	2.488	7.837	15.725	2.488	39.123
Sail	3.872	1.479	5.727	13.333	1.479	19.722
V. Rudder	1.500	5.425	8.138	1.570	5.425	8.518
F. Hydroplane	0.443	4.331	1.917	17.600	4.331	76.217
A. Hydroplane	1.495	4.721	7.058	1.594	4.721	7.525
Bulkhead	1.500	5.822	8.732	12.750	5.822	74.225
Struktur Intrn	0.750	4.658	3.493	14.000	4.658	65.207
		62.388	91.401		62.388	667.141

$$KG = \frac{\sum KG \times M}{\sum M}$$

$$= 1.465 \text{ m (dari baseline)}$$

$$LCG = \frac{\sum LCG \times M}{\sum M}$$

$$= 10.693 \text{ m (dri AP)}$$

Rekap Titik Berat Sistem Pada Lambung

Item	KG (m)	M (ton)	KG x M	LCG (m)	M (ton)	LCG x M
Steering Gear	1.500	1.810	2.715	2.138	1.810	3.869
Air & Gas Sys	3.120	2.654	8.281	16.000	2.654	42.467
Life Sup Sys	1.667	2.413	4.021	10.750	2.413	25.939
Water System	0.667	1.086	0.724	9.750	1.086	10.587
Diving System	0.667	0.362	0.241	9.250	0.362	3.348
Hydraulic Sys	0.667	0.483	0.322	8.750	0.483	4.223
		8.807	16.304		8.807	90.432

$$KG = \frac{\sum KG \times M}{\sum M}$$

$$= 1.851 \text{ m (dari baseline)}$$

$$LCG = \frac{\sum LCG \times M}{\sum M}$$

$$= 10.268 \text{ m (dri AP)}$$

Rekap Titik Berat Sistem Pembangkit Daya

Item	KG (m)	M (ton)	KG x M	LCG (m)	M (ton)	LCG x M
Genset	1.545	4.327	6.683	9.162	4.327	39.644
Electric Prop	1.677	0.733	1.229	4.982	0.733	3.652
Shafting	1.500	1.400	2.100	2.650	1.400	3.710
Battery	0.717	5.600	4.013	14.500	5.600	81.200
Fuel Oil	0.667	2.970	1.980	17.500	2.970	51.975
Lub Oil	0.667	1.084	0.723	10.250	1.084	11.114
Elektrik-Kabel	1.800	7.239	13.030	11.200	7.239	81.073
		23.353	29.758		23.353	272.368

$$KG = \frac{\sum KG \times M}{\sum M}$$

$$= 1.274 \text{ m (dari baseline)}$$

$$LCG = \frac{\sum LCG \times M}{\sum M}$$

$$= 11.663 \text{ m (dari AP)}$$

Rekap Titik Berat Kru dan Konsumsi

Item	KG (m)	M (ton)	KG x M	LCG (m)	M (ton)	LCG x M
Personil-Cons	1.950	1.040	2.028	12.500	1.040	13.000
Solid Ballast	0.167	4.826	0.804	20.000	4.826	96.516
Disp Margin	1.500	3.619	5.429	11.272	3.619	40.797
		9.485	8.261		9.485	150.313

$$KG = \frac{\sum KG \times M}{\sum M}$$

$$= 0.871 \text{ m (dari baseline)}$$

$$LCG = \frac{\sum LCG \times M}{\sum M}$$

$$= 15.847 \text{ m (dari AP)}$$



Tugas Akhir MN 141581

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Stabilitas

Nama : Bagus Gelis Pratama Putra

NRP : 4111100026

STUDI DESAIN *MIDGET SUBMARINE* UNTUK APLIKASI INTELIJEN DAN MONITORING PERAIRAN INDONESIA

XI. Perhitungan Stabilitas

XI.1. Stabilitas Kondisi *Submerged*

Untuk Menghitung Stabilitas menggunakan saat kondisi submerged menggunakan rumus:

$$\overline{GZ} = \overline{BG} \sin \beta$$

oleh : Allmendinger, 1990

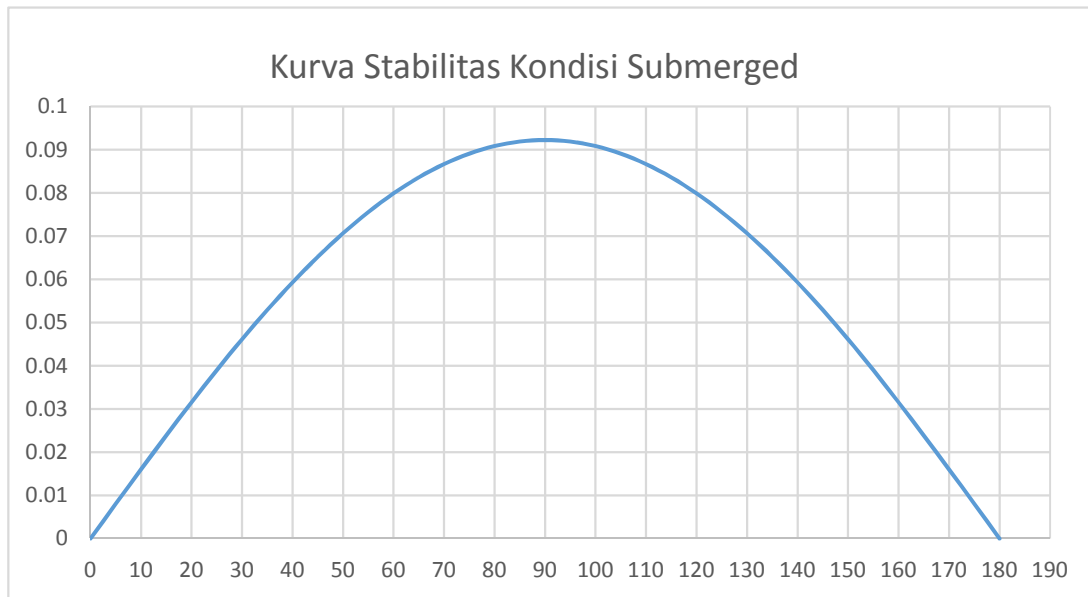
KG = 1.414 m

KB = 1.506 m

BG = KB - KG

= 0.092 m

β (deg)	β (rad)	$\sin \beta$	BG (m)	GZ
0	0	0	0.092	0
10	0.175	0.17365	0.092	0.016
20	0.349	0.34202	0.092	0.032
30	0.524	0.5	0.092	0.046
40	0.698	0.64279	0.092	0.059
50	0.873	0.76604	0.092	0.071
60	1.047	0.86603	0.092	0.080
70	1.222	0.93969	0.092	0.087
80	1.396	0.98481	0.092	0.091
90	1.571	1	0.092	0.092
100	1.745329	0.98481	0.092	0.091
110	1.919862	0.93969	0.092	0.087
120	2.094	0.86603	0.092	0.080
130	2.269	0.76604	0.092	0.071
140	2.443	0.64279	0.092	0.059
150	2.618	0.5	0.092	0.046
160	2.793	0.34202	0.092	0.032
170	2.967	0.17365	0.092	0.016
180	3.142	1.2E-16	0.092	0.000



Lengan GZ maximal berada pada sudut
dengan nilai

90 deg
0.092

memenuhi

XI.2. Stabilitas Kondisi Surface

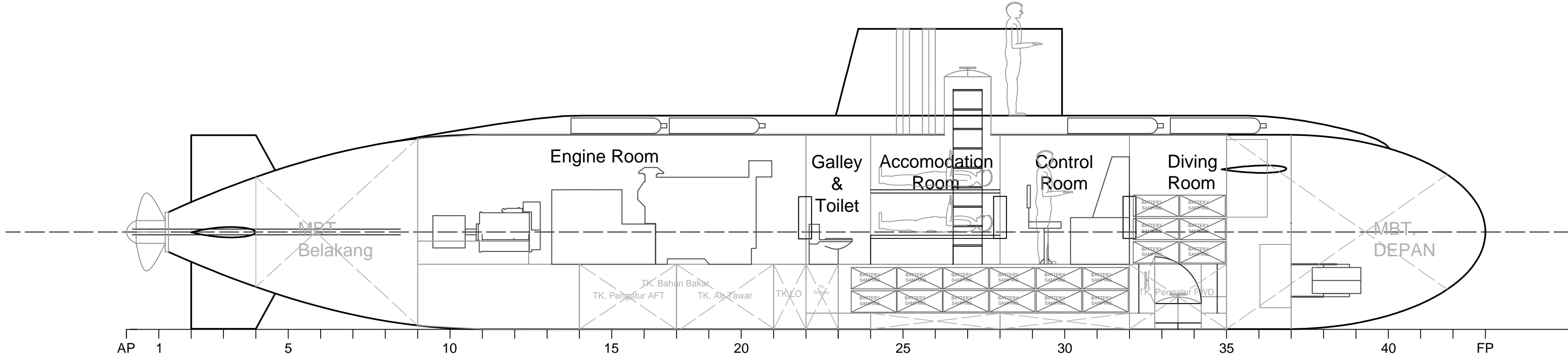
perhitungan stabilitas pada kondisi surface dilakukan menggunakan bantuan software ,
software yang digunakan adalah *Maxsurf Stability V20*

	Name	Type	Intact Perm. %	Damaged Perm. %	Specific gravity	Fluid type	Boundary Surfaces	Aft m	Fore m	F.Port m	F.Stbd. m	F.Top m	F.Bott. m	A.Port m	A.Stbd. m	A.Top m
1	MBT AFT	Tank	85	100	1,025	Water Ball	none	2	4,5	-2	2	2,3	0	-3,8	3,8	2,35
2	MBT FWD	Tank	85	100	1,025	Water Ball	none	13	21	-2	2	2,3	0	DITTO	DITTO	DITTO
3	I Hshan Hater	Tank	70	100	1,9443	Fuel Oil	none	7	11	-1,5	0,5	1	0	DITTO	DITTO	DITTO
4	T Peng PS1	Tank	70	100	1,025	Water Ball	none	7	8,3	2	0,5	1	0	DITTO	DITTO	DITTO
5	T Peng SE1	Tank	70	100	1,025	Water Ball	none	7	8,3	0,5	2	1	0	DITTO	DITTO	DITTO
6	T ATW/PS	Tank	70	100		Fresh Water	none	8,5	13	-2	-0,5	1	0	DITTO	DITTO	DITTO
7	I A/W St (A)	Tank	70	100		Fresh Water	none	8,5	13	0,5	2	1	0	DITTO	DITTO	DITTO
8	T. Lube Oil	Tank	70	100	0,92	Lube Oil	none	10	10,5	-2	2	1	0	DITTO	DITTO	DITTO
9	Sanitary Oil	Tank	70	100	0,913	Slops	none	10,5	11	-2	2	1	0	DITTO	DITTO	DITTO
10	T Peng PG2	Tank	70	100	1,025	Water Ball	none	15,5	17	-2	-0,75	1	0	DITTO	DITTO	DITTO
11	T Peng SE2	Tank	70	100	1,025	Water Ball	none	15,5	17	0,75	2	1	0	DITTO	DITTO	DITTO
12	MBT AFT 2	Tank	70	100	1,025	Water Ball	none	17	13	-2	2	0,25	0	DITTO	DITTO	DITTO

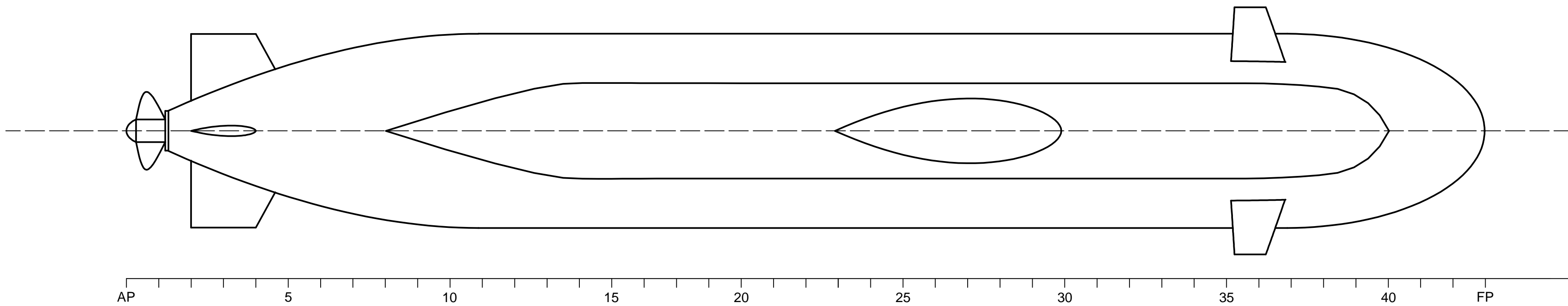
Rekap Stabilitas menggunakan Maxsurf Stability

Items	Value Req	Unit	LIGHT #1		Heavy After		Heavy #1		Heavy #2		Heavy Forward #1		Heavy Forward #2	
Displacement		Ton	108.6		108.5		108.5		109		109.5		109.2	
Draft Amidship		m	2.392		2.389		2.389		2.4		2.411		2.404	
Draft at FP		m	2.528		2.548		2.548		2.534		2.537		2.536	
Draft at AP		m	2.255		2.229		2.229		2.267109.		2.285		2.272	
Stability			Actual		Actual		Actual		Actual		Actual		Actual	
Max GZ at 30 or greater	0,200	m	0.281	Pass	0.287	Pass	0.287	Pass	0.292	Pass	0.294	Pass	0.293	Pass
Initial GMt	0,150	m	0.151	Pass	0.160	Pass	0.160	Pass	0.250	Pass	0.168	Pass	0.166	Pass

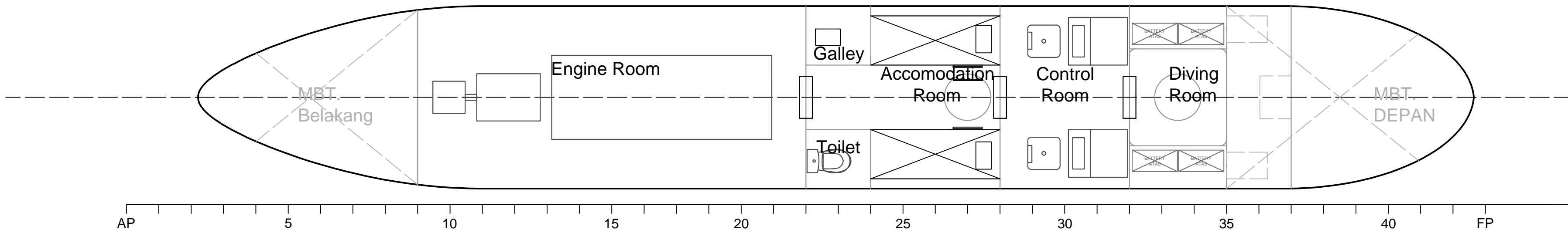
SIDE VIEW



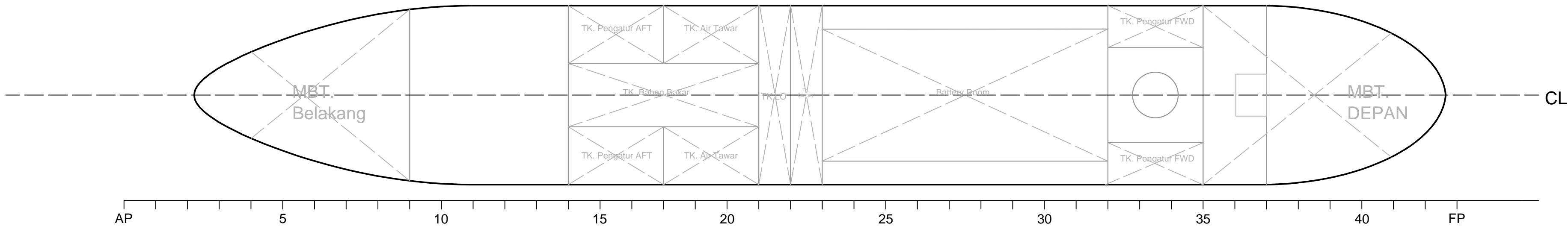
TOP VIEW



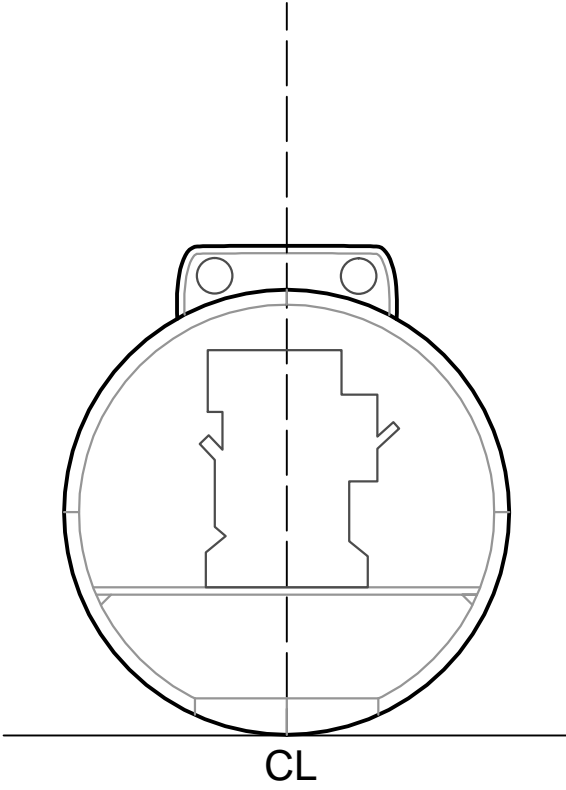
DECK VIEW



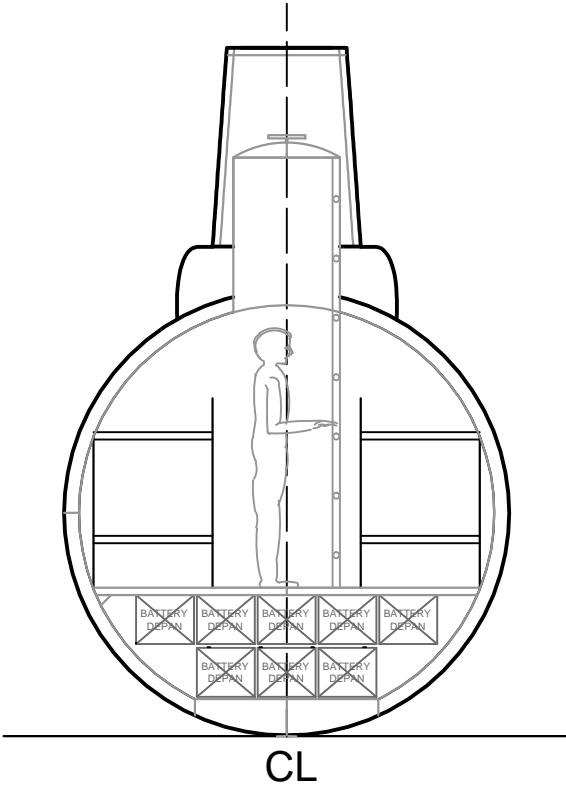
TANK ARRANGEMENT



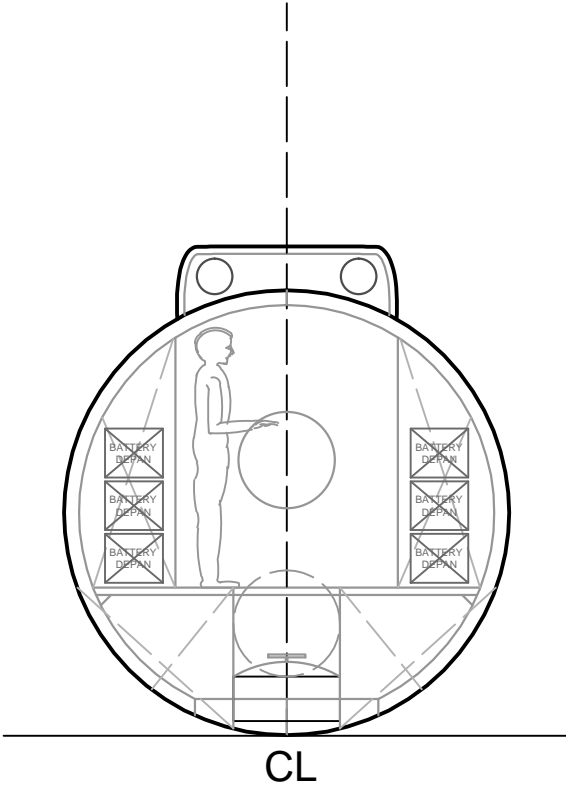
FR 20




FR 27



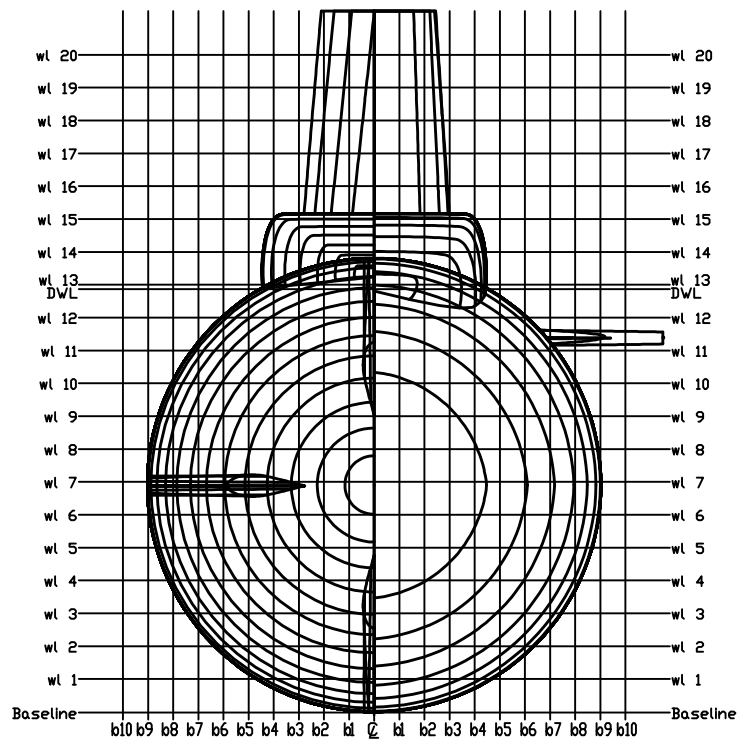
FR 33



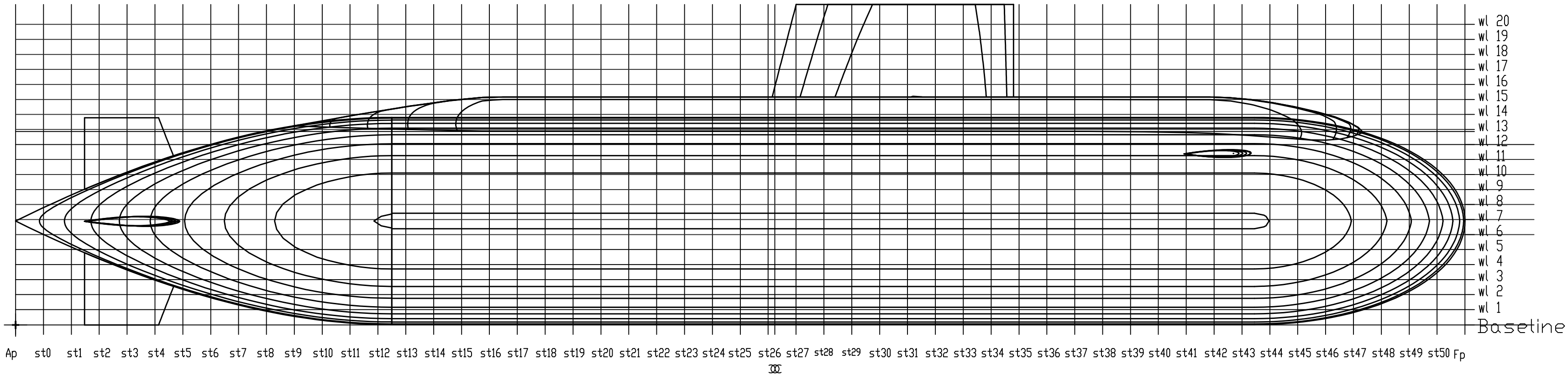
L	:	21.000 m
Diameter	:	3.000 m
H	:	4.641 m
T (surface)	:	2.370 m
V (submerged)	:	9 Knot
Maximum depth	:	150 m
Displacement (sur)	:	108.580 ton
Displacement (sub)	:	120.654 ton
Crew	:	8 person

 <div>DEPARTMENT OF NAVAL ARCHITECTURE & SHIPBUILDING ENGINEERING FACULTY OF MARINE TECHNOLOGY SEPULUH NOPEMBER INSTITUTE OF TECHNOLOGY</div>	
PESUT-CLASS MIDGET SUBMARINE	
GENERAL ARRANGEMENT	
SCALE : 1:50	SIGN
DRAWN BY : BAGUS GELIS PRATAMA PUTRA	
SUPERVISOR : Ir. Wasis Dwi Aryawan, M.Sc., Ph.D.	

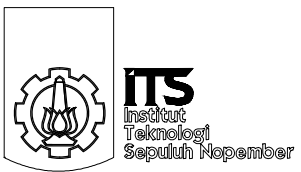
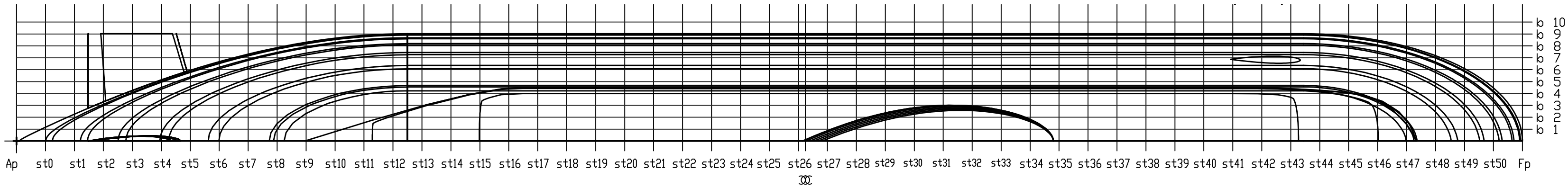
BODY PLAN



HALF BREADTH PLAN



SHEER PLAN



DEPARTMENT OF NAVAL ARCHITECTURE &
SHIPBUILDING ENGINEERING
FACULTY OF MARINE TECHNOLOGY
SEPULUH NOPEMBER INSTITUTE OF TECHNOLOGY

PESUT-CLASS MIDGET SUBMARINE

LINES PLAN

SCALE : 1:50	SIGN
DRAWN BY : BAGUS GELIS PRATAMA PUTRA	
SUPERVISOR : Ir. Wasis Dwi Aryawan, M.Sc., Ph.D.	

Stability Calculation - hullform untuk stability (131215)

Stability 20.00.02.31, build: 31

Model file: E:\01T A - Bagel\Works\linesplan & GA\stability (15des)\hullform untuk stability (131215) (Medium precision, 62 sections, Trimming on, Skin thickness not applied). Long. datum: AP; Vert. datum: Baseline. Analysis tolerance - ideal(worst case): Disp.‰: 0,01000(0,100); Trim‰(LCG-TCG): 0,01000(0,100); Heel‰(LCG-TCG): 0,01000(0,100)

Loadcase - Light 1

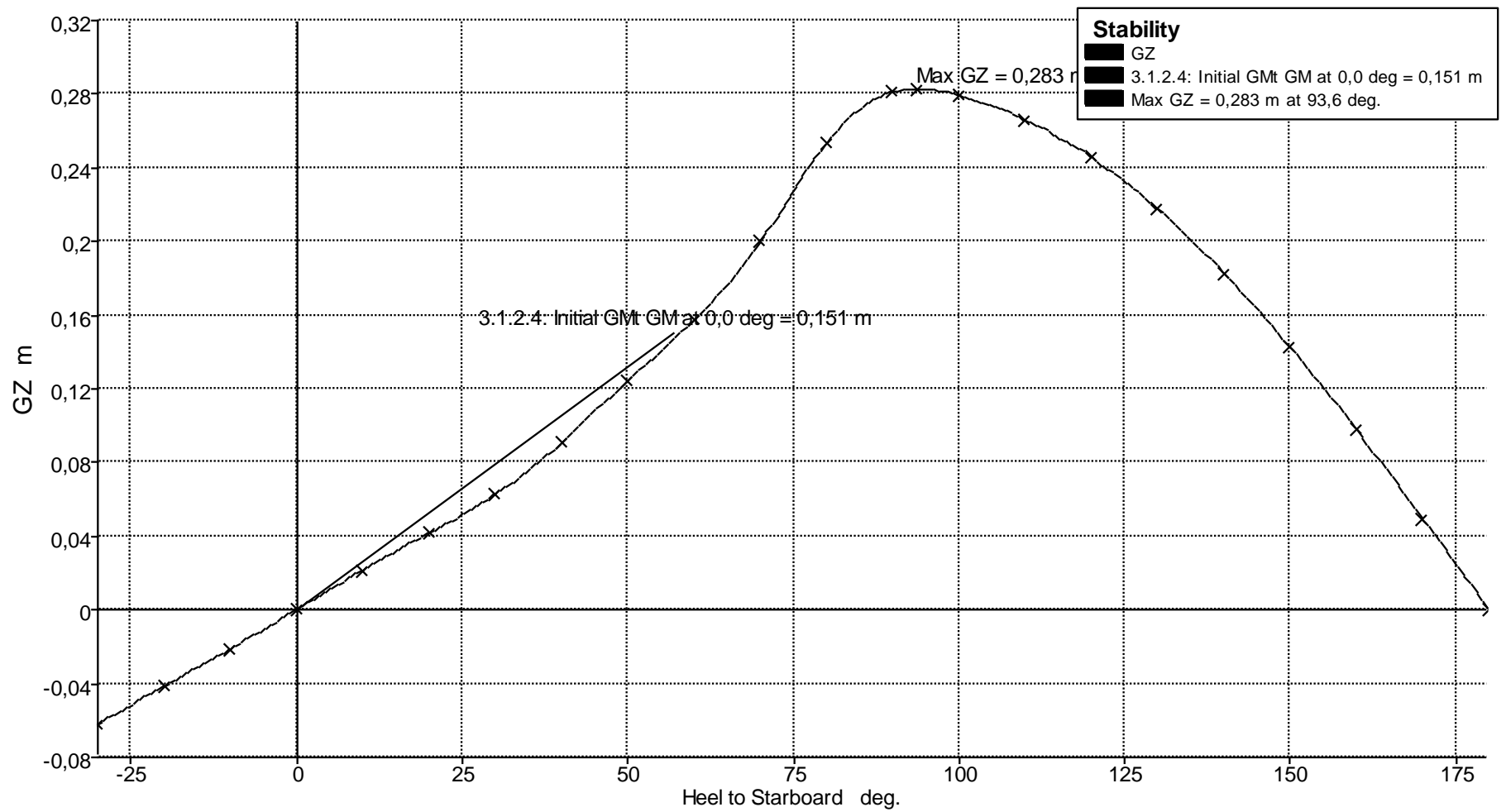
Damage Case - Intact

Free to Trim

Specific gravity = 1,025; (Density = 1,025 tonne/m³)

Fluid analysis method: Use corrected VCG

Item Name	Quantity	Unit Mass tonne	Total Mass tonne	Unit Volume m ³	Total Volume m ³	Long. Arm m	Trans. Arm m	Vert. Arm m	Total FSM tonne.m	FSM Type
Lightship	1	92,593	92,593			11,332	0,000	1,370	0,000	User Specified
MBT AFT	55%	9,847	5,416	9,607	5,284	3,445	0,000	1,027	3,074	Maximum
MBT FWD	55%	11,814	6,497	11,525	6,339	19,123	0,000	0,995	3,945	Maximum
T Bahan Bakar	75%	1,917	1,437	2,030	1,522	8,500	0,000	0,396	0,236	Maximum
T Peng PS1	25%	0,582	0,145	0,567	0,142	7,750	-0,714	0,338	0,096	Maximum
T Peng SB1	25%	0,582	0,145	0,567	0,142	7,750	0,714	0,338	0,096	Maximum
T ATW PS	100%	0,567	0,567	0,567	0,567	9,250	-0,849	0,652	0,000	Maximum
T ATW SB (A)	100%	0,567	0,567	0,567	0,567	9,250	0,849	0,652	0,000	Maximum
T. Lube Oil	75%	0,659	0,494	0,717	0,537	10,250	0,000	0,481	0,854	Maximum
Sewage	75%	0,654	0,491	0,717	0,537	10,750	0,000	0,481	0,847	Maximum
T Peng PS2	25%	0,351	0,088	0,343	0,086	16,250	-0,896	0,434	0,037	Maximum
T Peng SB2	25%	0,351	0,088	0,343	0,086	16,250	0,896	0,434	0,037	Maximum
MBT AFT 2	55%	0,196	0,108	0,191	0,105	17,500	0,000	0,103	0,372	Maximum
Total Loadcase			108,638	27,741	15,915	11,343	0,000	1,296	9,593	
FS correction								0,088		
VCG fluid								1,385		



Heel to Starboard deg	-30,0	-20,0	-10,0	0,0	10,0	20,0	30,0	40,0	50,0	60,0	70,0	80,0	90,0
GZ m	-0,062	-0,042	-0,021	0,000	0,021	0,042	0,062	0,091	0,124	0,157	0,200	0,254	0,281
Area under GZ curve from zero heel m.deg	0,9414	0,4228	0,1079	0,0000	0,1077	0,4234	0,9389	1,6982	2,7741	4,1793	5,9519	8,2258	10,9270
Displacement t	108,6	108,6	108,6	108,6	108,6	108,6	108,6	108,6	108,6	108,6	108,6	108,6	108,6
Draft at FP m	2,672	2,591	2,541	2,526	2,541	2,591	2,672	2,775	2,951	3,282	3,911	5,775	n/a
Draft at AP m	2,375	2,305	2,269	2,257	2,268	2,305	2,375	2,488	2,654	2,946	3,561	5,435	n/a
WL Length m	19,194	19,190	19,209	19,227	19,210	19,191	19,194	19,250	19,315	19,382	19,480	19,592	19,654
Beam max extents on WL m	2,586	2,511	2,510	3,817	2,510	2,511	2,586	2,870	3,004	3,569	4,341	4,376	3,083
Wetted Area m^2	133,679	133,948	133,892	133,727	133,884	133,941	133,674	132,524	132,206	132,765	133,252	133,932	137,201
Waterpl. Area m^2	43,364	40,918	40,907	42,354	40,912	40,922	43,365	47,206	48,184	49,796	53,223	53,887	51,277
Prismatic coeff. (Cp)	0,878	0,879	0,878	0,879	0,878	0,879	0,878	0,875	0,872	0,871	0,829	0,775	0,751
Block coeff. (Cb)	0,867	0,891	0,890	0,584	0,890	0,890	0,867	0,789	0,763	0,650	0,545	0,506	0,674
LCB from zero pt. (+ve fwd) m	11,343	11,343	11,343	11,342	11,343	11,343	11,343	11,343	11,343	11,343	11,344	11,343	11,343
LCF from zero pt. (+ve fwd) m	11,154	11,015	11,015	11,230	11,015	11,015	11,154	11,209	11,184	11,274	11,398	11,429	11,354
Max deck inclination deg	30,0068	20,0117	10,0241	0,6988	10,0241	20,0117	30,0068	40,0034	50,0018	60,0010	70,0003	80,0000	90,0000
Trim angle (+ve by stern) deg	-0,7733	-0,7437	-0,7096	-0,6988	-0,7096	-0,7437	-0,7741	-0,7458	-0,7741	-0,8739	-0,9109	-0,8850	-90,0000

100,0	110,0	120,0	130,0	140,0	150,0	160,0	170,0	180,0
0,279	0,266	0,246	0,218	0,183	0,143	0,098	0,050	0,000
13,7455	16,4801	19,0456	21,3675	23,3755	25,0067	26,2108	26,9491	27,1977
108,6	108,6	108,6	108,6	108,6	108,6	108,6	108,6	108,6
2,461	0,509	-0,134	-0,443	-0,614	-0,718	-0,776	-0,810	-0,820
2,311	0,432	-0,173	-0,463	-0,631	-0,733	-0,797	-0,830	-0,840
19,649	19,637	19,633	19,633	19,634	19,639	19,644	19,657	19,667
2,684	2,684	2,914	3,232	2,681	2,682	2,683	2,684	2,683
141,288	141,312	141,169	141,328	141,765	142,333	142,838	142,810	142,781
46,815	46,830	47,207	47,221	47,164	47,163	46,843	46,794	46,802
0,750	0,750	0,751	0,751	0,751	0,751	0,751	0,750	0,750
0,734	0,713	0,653	0,557	0,604	0,560	0,535	0,524	0,527
11,344	11,344	11,342	11,342	11,343	11,341	11,343	11,343	11,343
11,262	11,264	11,227	11,230	11,220	11,218	11,266	11,256	11,258
100,0000	110,0000	120,0000	130,0000	140,0000	150,0000	159,9999	169,9999	179,9479
-0,3914	-0,1987	-0,1027	-0,0538	-0,0451	-0,0399	-0,0555	-0,0529	-0,0521

Key point	Type	Immersion angle deg	Emergence angle deg
Margin Line (immersion pos = 20,978 m)		0	n/a
Deck Edge (immersion pos = 20,978 m)		0	n/a

Code	Criteria	Value	Units	Actual	Status	Margin %
A.749(18) Ch3 - Design criteria applicable to all ships	3.1.2.2: Max GZ at 30 or greater	0,200	m	0,281	Pass	+40,50
A.749(18) Ch3 - Design criteria applicable to all ships	3.1.2.4: Initial GMt	0,150	m	0,151	Pass	+0,67

Maxsurf Stability 3

Stability Calculation - hullform untuk stability (131215)

Stability 20.00.02.31, build: 31

Model file: E:\01T A - Bage\Works\linesplan & GA\stability (15des)\hullform untuk stability (131215) (Medium precision, 62 sections, Trimming on, Skin thickness not applied). Long. datum: AP; Vert. datum: Baseline. Analysis tolerance - ideal(worst case): Disp.‰: 0,01000(0,100); Trim‰(LCG-TCG): 0,01000(0,100); Heel‰(LCG-TCG): 0,01000(0,100)

Loadcase - Heavy After

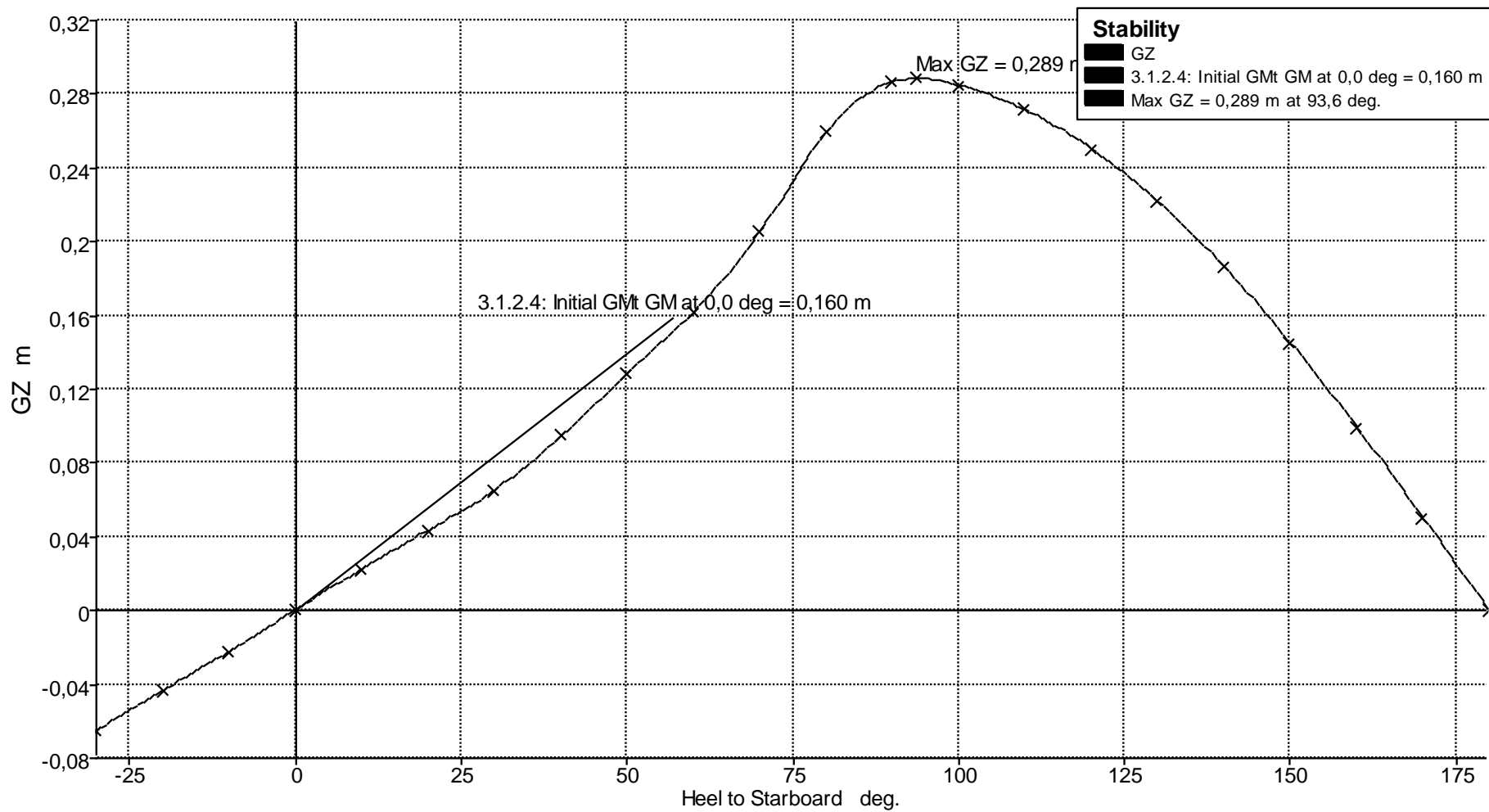
Damage Case - Intact

Free to Trim

Specific gravity = 1,025; (Density = 1,025 tonne/m³)

Fluid analysis method: Use corrected VCG

Item Name	Quantity	Unit Mass tonne	Total Mass tonne	Unit Volume m ³	Total Volume m ³	Long. Arm m	Trans. Arm m	Vert. Arm m	Total FSM tonne.m	FSM Type
Lightship	1	92,593	92,593			11,332	0,000	1,370	0,000	User Specified
MBT AFT	55%	9,847	5,416	9,607	5,284	3,445	0,000	1,027	3,074	Maximum
MBT FWD	55%	11,814	6,497	11,525	6,339	19,123	0,000	0,995	3,945	Maximum
T Bahan Bakar	50%	1,917	0,958	2,030	1,015	8,500	0,000	0,274	0,236	Maximum
T Peng PS1	75%	0,582	0,436	0,567	0,426	7,750	-0,818	0,561	0,096	Maximum
T Peng SB1	75%	0,582	0,436	0,567	0,426	7,750	0,818	0,561	0,096	Maximum
T ATW PS	50%	0,567	0,284	0,567	0,284	9,250	-0,777	0,460	0,094	Maximum
T ATW SB (A)	50%	0,567	0,284	0,567	0,284	9,250	0,777	0,460	0,094	Maximum
T. Lube Oil	50%	0,659	0,330	0,717	0,358	10,250	0,000	0,365	0,854	Maximum
Sewage	100%	0,654	0,654	0,717	0,717	10,750	0,000	0,588	0,000	Maximum
T Peng PS2	75%	0,351	0,263	0,343	0,257	16,250	-0,974	0,628	0,037	Maximum
T Peng SB2	75%	0,351	0,263	0,343	0,257	16,250	0,974	0,628	0,037	Maximum
MBT AFT 2	55%	0,196	0,108	0,191	0,105	17,500	0,000	0,103	0,372	Maximum
Total Loadcase			108,523	27,741	15,750	11,363	0,000	1,297	8,934	
FS correction								0,082		
VCG fluid								1,379		



Maxsurf Stability 5

Heel to Starboard deg	-30,0	-20,0	-10,0	0,0	10,0	20,0	30,0	40,0	50,0	60,0	70,0	80,0	90,0
GZ m	-0,065	-0,043	-0,022	0,000	0,022	0,043	0,065	0,095	0,129	0,162	0,205	0,259	0,287
Area under GZ curve from zero heel m.deg	0,9847	0,4421	0,1128	0,0000	0,1126	0,4427	0,9823	1,7746	2,8903	4,3412	6,1652	8,4947	11,2530
Displacement t	108,5	108,5	108,5	108,5	108,5	108,5	108,5	108,5	108,5	108,5	108,5	108,5	108,5
Draft at FP m	2,695	2,613	2,563	2,547	2,562	2,613	2,695	2,799	2,979	3,317	3,961	5,870	n/a
Draft at AP m	2,345	2,277	2,242	2,230	2,241	2,277	2,345	2,457	2,618	2,900	3,494	5,308	n/a
WL Length m	19,166	19,160	19,178	19,197	19,178	19,160	19,166	19,223	19,292	19,360	19,460	19,575	19,639
Beam max extents on WL m	2,587	2,529	2,529	3,817	2,529	2,529	2,587	2,872	3,004	3,570	4,340	4,377	3,099
Wetted Area m^2	133,426	133,785	133,734	133,658	133,724	133,780	133,422	132,317	131,895	132,454	133,160	133,782	137,072
Waterpl. Area m^2	43,463	40,958	40,945	42,520	40,951	40,961	43,465	47,265	48,295	49,962	53,312	53,953	51,316
Prismatic coeff. (Cp)	0,874	0,875	0,875	0,874	0,875	0,875	0,874	0,871	0,868	0,868	0,828	0,774	0,750
Block coeff. (Cb)	0,863	0,880	0,879	0,582	0,879	0,880	0,863	0,785	0,760	0,647	0,543	0,504	0,668
LCB from zero pt. (+ve fwd) m	11,364	11,364	11,364	11,364	11,364	11,364	11,364	11,364	11,364	11,364	11,365	11,364	11,364
LCF from zero pt. (+ve fwd) m	11,105	10,957	10,957	11,193	10,957	10,957	11,104	11,181	11,131	11,216	11,371	11,397	11,313
Max deck inclination deg	30,0094	20,0162	10,0335	0,8233	10,0335	20,0162	30,0094	40,0049	50,0027	60,0015	70,0005	80,0001	90,0000
Trim angle (+ve by stern) deg	-0,9098	-0,8762	-0,8360	-0,8233	-0,8360	-0,8762	-0,9110	-0,8915	-0,9409	-1,0854	-1,2159	-1,4630	-90,0000

100,0	110,0	120,0	130,0	140,0	150,0	160,0	170,0	180,0
0,285	0,272	0,251	0,222	0,187	0,145	0,100	0,051	0,000
14,1287	16,9190	19,5370	21,9066	23,9555	25,6194	26,8476	27,6009	27,8545
108,5	108,5	108,5	108,5	108,5	108,5	108,5	108,5	108,5
2,556	0,557	-0,100	-0,416	-0,592	-0,695	-0,759	-0,793	-0,804
2,183	0,368	-0,218	-0,499	-0,661	-0,762	-0,821	-0,852	-0,862
19,633	19,622	19,618	19,617	19,619	19,621	19,629	19,641	19,652
2,697	2,696	2,915	3,234	2,693	2,695	2,695	2,696	2,695
141,133	141,156	140,941	141,095	141,510	142,076	142,679	142,657	142,647
46,881	46,899	47,256	47,272	47,214	47,205	46,911	46,901	46,901
0,750	0,750	0,750	0,750	0,750	0,750	0,750	0,750	0,749
0,728	0,707	0,650	0,556	0,601	0,557	0,532	0,521	0,524
11,365	11,364	11,364	11,364	11,364	11,365	11,363	11,363	11,363
11,225	11,227	11,190	11,192	11,181	11,175	11,226	11,224	11,224
100,0000	109,9999	119,9999	129,9999	139,9998	149,9997	159,9995	169,9989	179,8496
-0,9712	-0,4931	-0,3088	-0,2146	-0,1801	-0,1736	-0,1600	-0,1527	-0,1504

Key point	Type	Immersion angle deg	Emergence angle deg
Margin Line (immersion pos = 20,978 m)		0	n/a
Deck Edge (immersion pos = 20,978 m)		0	n/a

Code	Criteria	Value	Units	Actual	Status	Margin %
A.749(18) Ch3 - Design criteria applicable to all ships	3.1.2.2: Max GZ at 30 or greater	0,200	m	0,287	Pass	+43,50
A.749(18) Ch3 - Design criteria applicable to all ships	3.1.2.4: Initial GMt	0,150	m	0,160	Pass	+6,67

Maxsurf Stability 6

Stability Calculation - hullform untuk stability (131215)

Stability 20.00.02.31, build: 31

Model file: E:\01T A - Bagel\Works\linesplan & GA\stability (15des)\hullform untuk stability (131215) (Medium precision, 62 sections, Trimming on, Skin thickness not applied). Long. datum: AP; Vert. datum: Baseline. Analysis tolerance - ideal(worst case): Disp.‰: 0,01000(0,100); Trim‰(LCG-TCG): 0,01000(0,100); Heel‰(LCG-TCG): 0,01000(0,100)

Loadcase - Heavy 1

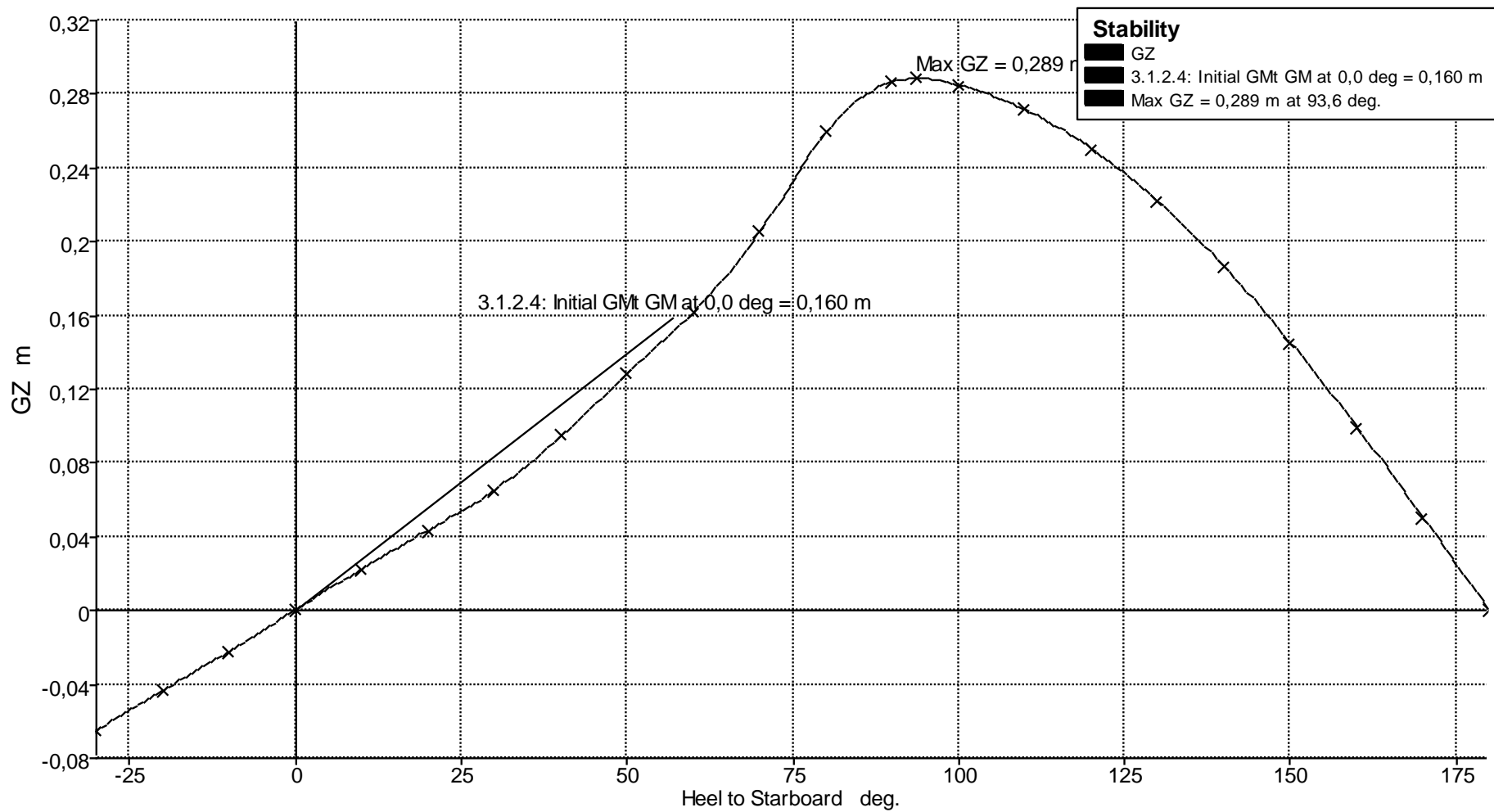
Damage Case - Intact

Free to Trim

Specific gravity = 1,025; (Density = 1,025 tonne/m³)

Fluid analysis method: Use corrected VCG

Item Name	Quantity	Unit Mass tonne	Total Mass tonne	Unit Volume m ³	Total Volume m ³	Long. Arm m	Trans. Arm m	Vert. Arm m	Total FSM tonne.m	FSM Type
Lightship	1	92,593	92,593			11,332	0,000	1,370	0,000	User Specified
MBT AFT	55%	9,847	5,416	9,607	5,284	3,445	0,000	1,027	3,074	Maximum
MBT FWD	55%	11,814	6,497	11,525	6,339	19,123	0,000	0,995	3,945	Maximum
T Bahan Bakar	50%	1,917	0,958	2,030	1,015	8,500	0,000	0,274	0,236	Maximum
T Peng PS1	75%	0,582	0,436	0,567	0,426	7,750	-0,818	0,561	0,096	Maximum
T Peng SB1	75%	0,582	0,436	0,567	0,426	7,750	0,818	0,561	0,096	Maximum
T ATW PS	50%	0,567	0,284	0,567	0,284	9,250	-0,777	0,460	0,094	Maximum
T ATW SB (A)	50%	0,567	0,284	0,567	0,284	9,250	0,777	0,460	0,094	Maximum
T. Lube Oil	50%	0,659	0,330	0,717	0,358	10,250	0,000	0,365	0,854	Maximum
Sewage	100%	0,654	0,654	0,717	0,717	10,750	0,000	0,588	0,000	Maximum
T Peng PS2	75%	0,351	0,263	0,343	0,257	16,250	-0,974	0,628	0,037	Maximum
T Peng SB2	75%	0,351	0,263	0,343	0,257	16,250	0,974	0,628	0,037	Maximum
MBT AFT 2	55%	0,196	0,108	0,191	0,105	17,500	0,000	0,103	0,372	Maximum
Total Loadcase			108,523	27,741	15,750	11,363	0,000	1,297	8,934	
FS correction								0,082		
VCG fluid								1,379		



Maxsurf Stability 8

Heel to Starboard deg	-30,0	-20,0	-10,0	0,0	10,0	20,0	30,0	40,0	50,0	60,0	70,0	80,0	90,0
GZ m	-0,065	-0,043	-0,022	0,000	0,022	0,043	0,065	0,095	0,129	0,162	0,205	0,259	0,287
Area under GZ curve from zero heel m.deg	0,9847	0,4421	0,1128	0,0000	0,1126	0,4427	0,9823	1,7746	2,8903	4,3412	6,1652	8,4947	11,2530
Displacement t	108,5	108,5	108,5	108,5	108,5	108,5	108,5	108,5	108,5	108,5	108,5	108,5	108,5
Draft at FP m	2,695	2,613	2,563	2,547	2,562	2,613	2,695	2,799	2,979	3,317	3,961	5,870	n/a
Draft at AP m	2,345	2,277	2,242	2,230	2,241	2,277	2,345	2,457	2,618	2,900	3,494	5,308	n/a
WL Length m	19,166	19,160	19,178	19,197	19,178	19,160	19,166	19,223	19,292	19,360	19,460	19,575	19,639
Beam max extents on WL m	2,587	2,529	2,529	3,817	2,529	2,529	2,587	2,872	3,004	3,570	4,340	4,377	3,099
Wetted Area m^2	133,426	133,785	133,734	133,658	133,724	133,780	133,422	132,317	131,895	132,454	133,160	133,782	137,072
Waterpl. Area m^2	43,463	40,958	40,945	42,520	40,951	40,961	43,465	47,265	48,295	49,962	53,312	53,953	51,316
Prismatic coeff. (Cp)	0,874	0,875	0,875	0,874	0,875	0,875	0,874	0,871	0,868	0,868	0,828	0,774	0,750
Block coeff. (Cb)	0,863	0,880	0,879	0,582	0,879	0,880	0,863	0,785	0,760	0,647	0,543	0,504	0,668
LCB from zero pt. (+ve fwd) m	11,364	11,364	11,364	11,364	11,364	11,364	11,364	11,364	11,364	11,364	11,365	11,364	11,364
LCF from zero pt. (+ve fwd) m	11,105	10,957	10,957	11,193	10,957	10,957	11,104	11,181	11,131	11,216	11,371	11,397	11,313
Max deck inclination deg	30,0094	20,0162	10,0335	0,8233	10,0335	20,0162	30,0094	40,0049	50,0027	60,0015	70,0005	80,0001	90,0000
Trim angle (+ve by stern) deg	-0,9098	-0,8762	-0,8360	-0,8233	-0,8360	-0,8762	-0,9110	-0,8915	-0,9409	-1,0854	-1,2159	-1,4630	-90,0000

100,0	110,0	120,0	130,0	140,0	150,0	160,0	170,0	180,0
0,285	0,272	0,251	0,222	0,187	0,145	0,100	0,051	0,000
14,1287	16,9190	19,5370	21,9066	23,9555	25,6194	26,8476	27,6009	27,8545
108,5	108,5	108,5	108,5	108,5	108,5	108,5	108,5	108,5
2,556	0,557	-0,100	-0,416	-0,592	-0,695	-0,759	-0,793	-0,804
2,183	0,368	-0,218	-0,499	-0,661	-0,762	-0,821	-0,852	-0,862
19,633	19,622	19,618	19,617	19,619	19,621	19,629	19,641	19,652
2,697	2,696	2,915	3,234	2,693	2,695	2,695	2,696	2,695
141,133	141,156	140,941	141,095	141,510	142,076	142,679	142,657	142,647
46,881	46,899	47,256	47,272	47,214	47,205	46,911	46,901	46,901
0,750	0,750	0,750	0,750	0,750	0,750	0,750	0,750	0,749
0,728	0,707	0,650	0,556	0,601	0,557	0,532	0,521	0,524
11,365	11,364	11,364	11,364	11,364	11,365	11,363	11,363	11,363
11,225	11,227	11,190	11,192	11,181	11,175	11,226	11,224	11,224
100,0000	109,9999	119,9999	129,9999	139,9998	149,9997	159,9995	169,9989	179,8496
-0,9712	-0,4931	-0,3088	-0,2146	-0,1801	-0,1736	-0,1600	-0,1527	-0,1504

Key point	Type	Immersion angle deg	Emergence angle deg
Margin Line (immersion pos = 20,978 m)		0	n/a
Deck Edge (immersion pos = 20,978 m)		0	n/a

Code	Criteria	Value	Units	Actual	Status	Margin %
A.749(18) Ch3 - Design criteria applicable to all ships	3.1.2.2: Max GZ at 30 or greater	0,200	m	0,287	Pass	+43,50
A.749(18) Ch3 - Design criteria applicable to all ships	3.1.2.4: Initial GMT	0,150	m	0,160	Pass	+6,67

Stability Calculation - hullform untuk stability (131215)

Stability 20.00.02.31, build: 31

Model file: E:\01T A - Bagel\Works\linesplan & GA\stability (15des)\hullform untuk stability (131215) (Medium precision, 62 sections, Trimming on, Skin thickness not applied). Long. datum: AP; Vert. datum: Baseline. Analysis tolerance - ideal(worst case): Disp.‰: 0,01000(0,100); Trim‰(LCG-TCG): 0,01000(0,100); Heel‰(LCG-TCG): 0,01000(0,100)

Loadcase - Heavy 2

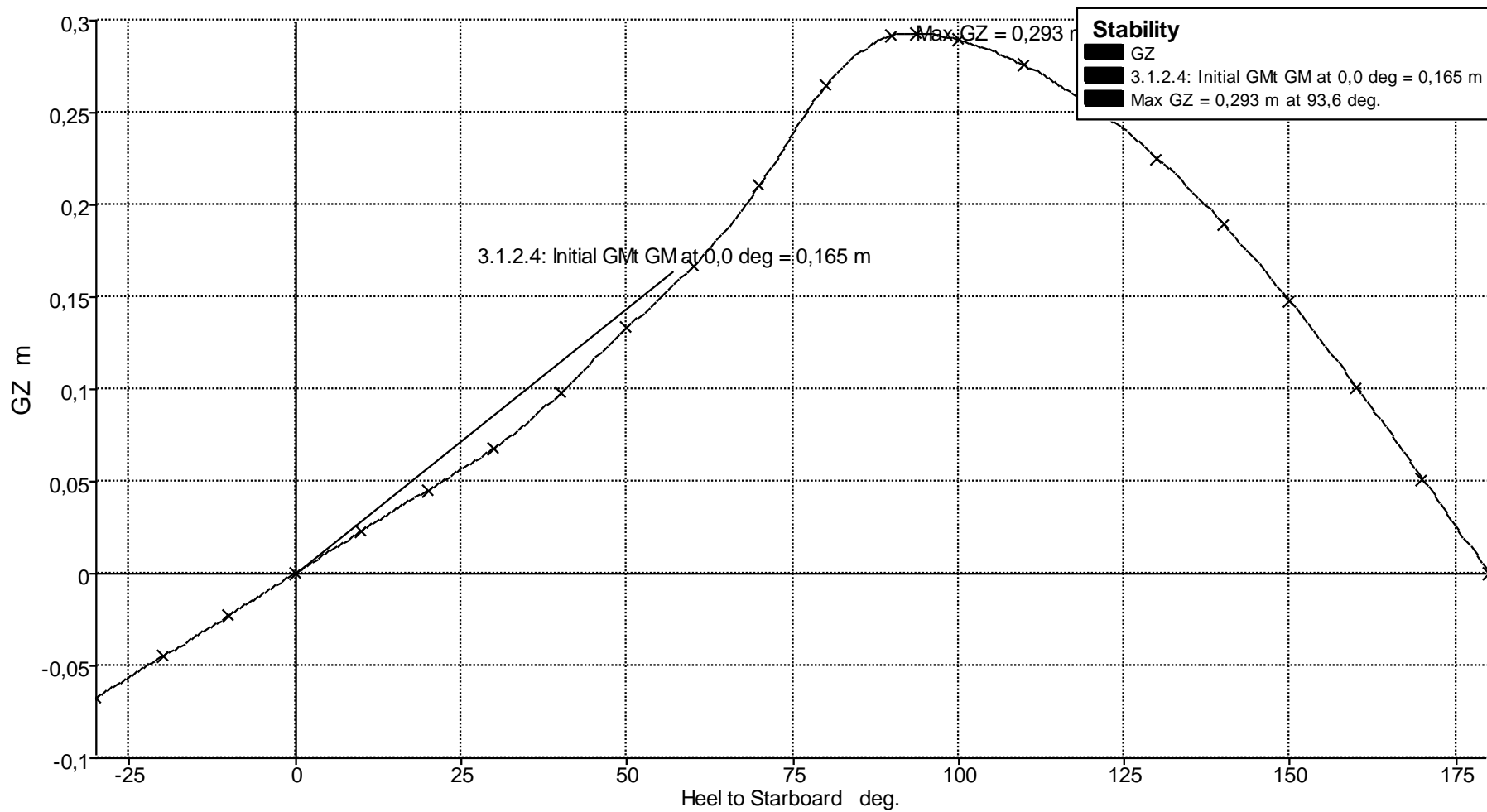
Damage Case - Intact

Free to Trim

Specific gravity = 1,025; (Density = 1,025 tonne/m³)

Fluid analysis method: Use corrected VCG

Item Name	Quantity	Unit Mass tonne	Total Mass tonne	Unit Volume m ³	Total Volume m ³	Long. Arm m	Trans. Arm m	Vert. Arm m	Total FSM tonne.m	FSM Type
Lightship	1	92,593	92,593			11,332	0,000	1,370	0,000	User Specified
MBT AFT	55%	9,847	5,416	9,607	5,284	3,445	0,000	1,027	3,074	Maximum
MBT FWD	55%	11,814	6,497	11,525	6,339	19,123	0,000	0,995	3,945	Maximum
T Bahan Bakar	100%	1,917	1,917	2,030	2,030	8,500	0,000	0,516	0,000	Maximum
T Peng PS1	50%	0,582	0,291	0,567	0,284	7,750	-0,777	0,460	0,096	Maximum
T Peng SB1	50%	0,582	0,291	0,567	0,284	7,750	0,777	0,460	0,096	Maximum
T ATW PS	50%	0,567	0,284	0,567	0,284	9,250	-0,777	0,460	0,094	Maximum
T ATW SB (A)	50%	0,567	0,284	0,567	0,284	9,250	0,777	0,460	0,094	Maximum
T. Lube Oil	50%	0,659	0,330	0,717	0,358	10,250	0,000	0,365	0,854	Maximum
Sewage	100%	0,654	0,654	0,717	0,717	10,750	0,000	0,588	0,000	Maximum
T Peng PS2	50%	0,351	0,176	0,343	0,171	16,250	-0,943	0,541	0,037	Maximum
T Peng SB2	50%	0,351	0,176	0,343	0,171	16,250	0,943	0,541	0,037	Maximum
MBT AFT 2	55%	0,196	0,108	0,191	0,105	17,500	0,000	0,103	0,372	Maximum
Total Loadcase			109,015	27,741	16,310	11,340	0,000	1,294	8,698	
FS correction								0,080		
VCG fluid								1,374		



Heel to Starboard deg	-30,0	-20,0	-10,0	0,0	10,0	20,0	30,0	40,0	50,0	60,0	70,0	80,0	90,0
-----------------------	-------	-------	-------	-----	------	------	------	------	------	------	------	------	------

GZ m	-0,068	-0,045	-0,023	0,000	0,023	0,045	0,068	0,098	0,133	0,167	0,211	0,264	0,292
Area under GZ curve from zero heel m.deg	1,0240	0,4595	0,1172	0,0000	0,1170	0,4602	1,0215	1,8454	3,0013	4,4980	6,3729	8,7556	11,5646
Displacement t	109,0	109,0	109,0	109,0	109,0	109,0	109,0	109,0	109,0	109,0	109,0	109,0	109,0
Draft at FP m	2,679	2,599	2,548	2,533	2,548	2,598	2,679	2,782	2,960	3,292	3,924	5,800	n/a
Draft at AP m	2,388	2,317	2,280	2,268	2,279	2,317	2,387	2,501	2,669	2,966	3,589	5,491	n/a
WL Length m	19,183	19,177	19,195	19,214	19,195	19,177	19,182	19,239	19,306	19,374	19,473	19,586	19,649
Beam max extents on WL m	2,585	2,497	2,497	3,817	2,497	2,498	2,585	2,867	3,006	3,575	4,334	4,371	3,066
Wetted Area m^2	134,118	134,400	134,343	134,271	134,333	134,393	134,114	132,978	132,647	133,230	133,634	134,347	137,628
Waterpl. Area m^2	43,215	40,632	40,622	42,191	40,628	40,637	43,217	47,051	47,976	49,570	53,067	53,654	50,986
Prismatic coeff. (Cp)	0,879	0,880	0,879	0,879	0,879	0,880	0,879	0,876	0,873	0,872	0,828	0,775	0,751
Block coeff. (Cb)	0,868	0,896	0,895	0,585	0,895	0,896	0,868	0,791	0,764	0,650	0,547	0,507	0,678
LCB from zero pt. (+ve fwd) m	11,340	11,340	11,340	11,340	11,340	11,340	11,341	11,341	11,340	11,341	11,341	11,341	11,340
LCF from zero pt. (+ve fwd) m	11,163	11,015	11,015	11,248	11,015	11,015	11,163	11,209	11,187	11,293	11,406	11,434	11,357
Max deck inclination deg	30,0065	20,0114	10,0235	0,6895	10,0235	20,0114	30,0066	40,0033	50,0017	60,0009	70,0003	80,0000	90,0000
Trim angle (+ve by stern) deg	-0,7587	-0,7337	-0,7001	-0,6895	-0,7001	-0,7337	-0,7607	-0,7305	-0,7567	-0,8496	-0,8706	-0,8059	-90,0000

100,0	110,0	120,0	130,0	140,0	150,0	160,0	170,0	180,0
0,289	0,276	0,254	0,225	0,189	0,148	0,101	0,051	0,000
14,4855	17,3172	19,9740	22,3784	24,4577	26,1468	27,3936	28,1579	28,4152
109,0	109,0	109,0	109,0	109,0	109,0	109,0	109,0	109,0
2,493	0,525	-0,122	-0,434	-0,607	-0,711	-0,770	-0,804	-0,815
2,370	0,463	-0,153	-0,448	-0,619	-0,722	-0,787	-0,820	-0,830
19,642	19,631	19,627	19,627	19,628	19,632	19,638	19,650	19,661
2,675	2,681	2,914	3,233	2,672	2,673	2,674	2,674	2,675
141,659	141,679	141,603	141,761	142,180	142,754	143,203	143,183	143,159
46,622	46,649	47,020	47,038	46,981	46,976	46,663	46,642	46,616
0,751	0,751	0,751	0,752	0,752	0,752	0,751	0,751	0,750
0,738	0,715	0,654	0,558	0,607	0,563	0,538	0,527	0,529
11,341	11,341	11,340	11,340	11,340	11,338	11,340	11,340	11,340
11,268	11,270	11,232	11,234	11,224	11,224	11,271	11,271	11,264
100,0000	110,0000	120,0000	130,0000	140,0000	150,0000	160,0000	169,9999	179,9596
-0,3198	-0,1624	-0,0816	-0,0372	-0,0312	-0,0276	-0,0430	-0,0411	-0,0404

Key point	Type	Immersion angle deg	Emergence angle deg
Margin Line (immersion pos = 20,978 m)		0	n/a
Deck Edge (immersion pos = 20,978 m)		0	n/a

Code	Criteria	Value	Units	Actual	Status	Margin %
A.749(18) Ch3 - Design criteria applicable to all ships	3.1.2.2: Max GZ at 30 or greater	0,200	m	0,292	Pass	+46,00
A.749(18) Ch3 - Design criteria applicable to all ships	3.1.2.4: Initial GMt	0,150	m	0,165	Pass	+10,00

Stability Calculation - hullform untuk stability (131215)

Stability 20.00.02.31, build: 31

Model file: E:\01T A - Bagel\Works\linesplan & GA\stability (15des)\hullform untuk stability (131215) (Medium precision, 62 sections, Trimming on, Skin thickness not applied). Long. datum: AP; Vert. datum: Baseline. Analysis tolerance - ideal(worst case): Disp.‰: 0,01000(0,100); Trim‰(LCG-TCG): 0,01000(0,100); Heel‰(LCG-TCG): 0,01000(0,100)

Loadcase - Heavy Fwd1

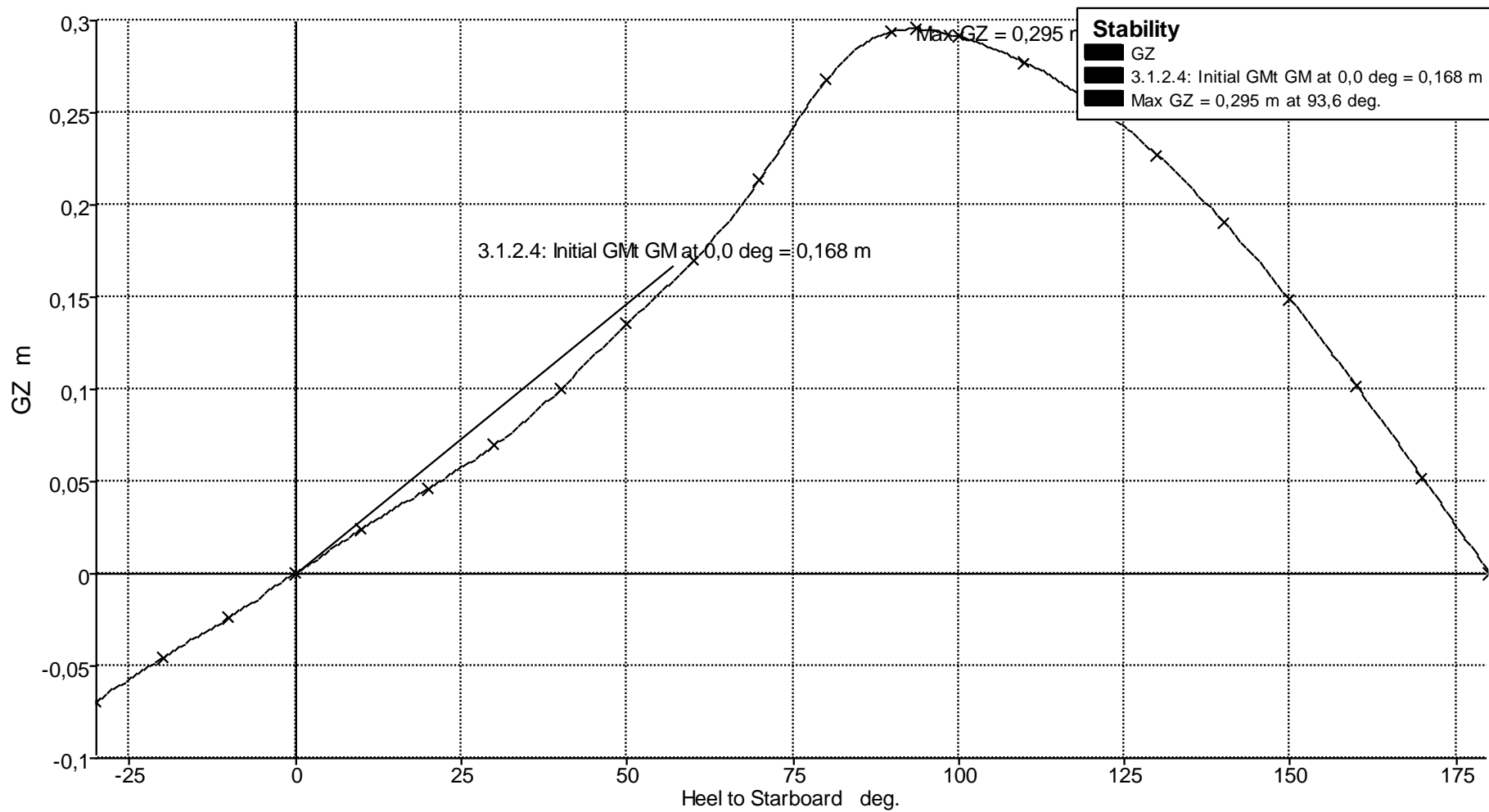
Damage Case - Intact

Free to Trim

Specific gravity = 1,025; (Density = 1,025 tonne/m³)

Fluid analysis method: Use corrected VCG

Item Name	Quantity	Unit Mass tonne	Total Mass tonne	Unit Volume m ³	Total Volume m ³	Long. Arm m	Trans. Arm m	Vert. Arm m	Total FSM tonne.m	FSM Type
Lightship	1	92,593	92,593			11,332	0,000	1,370	0,000	User Specified
MBT AFT	55%	9,847	5,416	9,607	5,284	3,445	0,000	1,027	3,074	Maximum
MBT FWD	55%	11,814	6,497	11,525	6,339	19,123	0,000	0,995	3,945	Maximum
T Bahan Bakar	100%	1,917	1,917	2,030	2,030	8,500	0,000	0,516	0,000	Maximum
T Peng PS1	50%	0,582	0,291	0,567	0,284	7,750	-0,777	0,460	0,096	Maximum
T Peng SB1	50%	0,582	0,291	0,567	0,284	7,750	0,777	0,460	0,096	Maximum
T ATW PS	75%	0,567	0,426	0,567	0,426	9,250	-0,818	0,561	0,094	Maximum
T ATW SB (A)	75%	0,567	0,426	0,567	0,426	9,250	0,818	0,561	0,094	Maximum
T. Lube Oil	75%	0,659	0,494	0,717	0,537	10,250	0,000	0,481	0,854	Maximum
Sewage	100%	0,654	0,654	0,717	0,717	10,750	0,000	0,588	0,000	Maximum
T Peng PS2	50%	0,351	0,176	0,343	0,171	16,250	-0,943	0,541	0,037	Maximum
T Peng SB2	50%	0,351	0,176	0,343	0,171	16,250	0,943	0,541	0,037	Maximum
MBT AFT 2	55%	0,196	0,108	0,191	0,105	17,500	0,000	0,103	0,372	Maximum
Total Loadcase			109,463	27,741	16,773	11,333	0,000	1,292	8,698	
FS correction								0,079		
VCG fluid								1,372		



Heel to Starboard deg	-30,0	-20,0	-10,0	0,0	10,0	20,0	30,0	40,0	50,0	60,0	70,0	80,0	90,0
GZ m	-0,069	-0,046	-0,024	0,000	0,024	0,046	0,069	0,100	0,135	0,170	0,214	0,267	0,294
Area under GZ curve from zero heel m.deg	1,0447	0,4683	0,1195	0,0000	0,1193	0,4690	1,0422	1,8849	3,0643	4,5869	6,4916	8,9057	11,7419
Displacement t	109,5	109,5	109,5	109,5	109,5	109,5	109,5	109,5	109,5	109,5	109,5	109,5	109,5
Draft at FP m	2,682	2,603	2,552	2,536	2,552	2,603	2,683	2,785	2,964	3,296	3,927	5,808	n/a
Draft at AP m	2,408	2,336	2,298	2,285	2,297	2,335	2,407	2,523	2,694	2,998	3,635	5,580	n/a
WL Length m	19,175	19,167	19,185	19,205	19,186	19,167	19,175	19,232	19,300	19,369	19,470	19,583	19,645
Beam max extents on WL m	2,583	2,478	2,478	3,817	2,478	2,478	2,583	2,863	3,009	3,581	4,327	4,366	3,038
Wetted Area m^2	134,671	134,952	134,896	134,810	134,885	134,945	134,667	133,558	133,205	133,722	134,133	134,861	138,175
Waterpl. Area m^2	43,019	40,297	40,281	41,865	40,288	40,301	43,021	46,930	47,720	49,370	52,840	53,361	50,604
Prismatic coeff. (Cp)	0,881	0,882	0,881	0,879	0,881	0,882	0,881	0,878	0,875	0,874	0,828	0,774	0,752
Block coeff. (Cb)	0,871	0,905	0,904	0,586	0,904	0,905	0,871	0,794	0,765	0,650	0,549	0,509	0,686
LCB from zero pt. (+ve fwd) m	11,333	11,333	11,333	11,333	11,333	11,333	11,333	11,334	11,333	11,334	11,334	11,334	11,333
LCF from zero pt. (+ve fwd) m	11,185	11,027	11,028	11,266	11,028	11,027	11,184	11,231	11,201	11,310	11,429	11,449	11,370
Max deck inclination deg	30,0058	20,0102	10,0211	0,6535	10,0211	20,0102	30,0058	40,0028	50,0015	60,0008	70,0002	80,0000	90,0000
Trim angle (+ve by stern) deg	-0,7159	-0,6955	-0,6636	-0,6535	-0,6636	-0,6955	-0,7170	-0,6834	-0,7028	-0,7763	-0,7611	-0,5955	-90,0000

100,0	110,0	120,0	130,0	140,0	150,0	160,0	170,0	180,0
0,291	0,278	0,256	0,227	0,191	0,149	0,102	0,052	0,000
14,6839	17,5338	20,2078	22,6276	24,7203	26,4206	27,6756	28,4448	28,7038
109,5	109,5	109,5	109,5	109,5	109,5	109,5	109,5	109,5
2,509	0,533	-0,116	-0,429	-0,603	-0,707	-0,767	-0,801	-0,812
2,464	0,510	-0,121	-0,423	-0,598	-0,703	-0,769	-0,803	-0,814
19,638	19,627	19,623	19,623	19,624	19,628	19,634	19,646	19,657
2,661	2,680	2,915	3,235	2,661	2,662	2,661	2,661	2,662
142,116	142,126	142,160	142,307	142,711	143,298	143,649	143,640	143,623
46,385	46,435	46,779	46,811	46,755	46,739	46,447	46,404	46,380
0,752	0,752	0,752	0,752	0,752	0,752	0,752	0,752	0,751
0,743	0,717	0,655	0,558	0,610	0,567	0,541	0,531	0,533
11,334	11,334	11,333	11,333	11,333	11,331	11,333	11,333	11,333
11,284	11,283	11,249	11,249	11,239	11,241	11,286	11,289	11,282
100,0000	110,0000	120,0000	130,0000	140,0000	150,0000	160,0000	170,0000	179,9954
-0,1172	-0,0595	-0,0145	0,0152	0,0128	0,0113	-0,0049	-0,0047	-0,0046

Key point	Type	Immersion angle deg	Emergence angle deg
Margin Line (immersion pos = 20,978 m)		0	n/a
Deck Edge (immersion pos = 20,978 m)		0	n/a

Code	Criteria	Value	Units	Actual	Status	Margin %
A.749(18) Ch3 - Design criteria applicable to all ships	3.1.2.2: Max GZ at 30 or greater	0,200	m	0,294	Pass	+47,00
A.749(18) Ch3 - Design criteria applicable to all ships	3.1.2.4: Initial GMT	0,150	m	0,168	Pass	+12,00

Stability Calculation - hullform untuk stability (131215)

Stability 20.00.02.31, build: 31

Model file: E:\01T A - Bagel\Works\linesplan & GA\stability (15des)\hullform untuk stability (131215) (Medium precision, 62 sections, Trimming on, Skin thickness not applied). Long. datum: AP; Vert. datum: Baseline. Analysis tolerance - ideal(worst case): Disp.‰: 0,01000(0,100); Trim‰(LCG-TCG): 0,01000(0,100); Heel‰(LCG-TCG): 0,01000(0,100)

Loadcase - Heavy Fwd 2

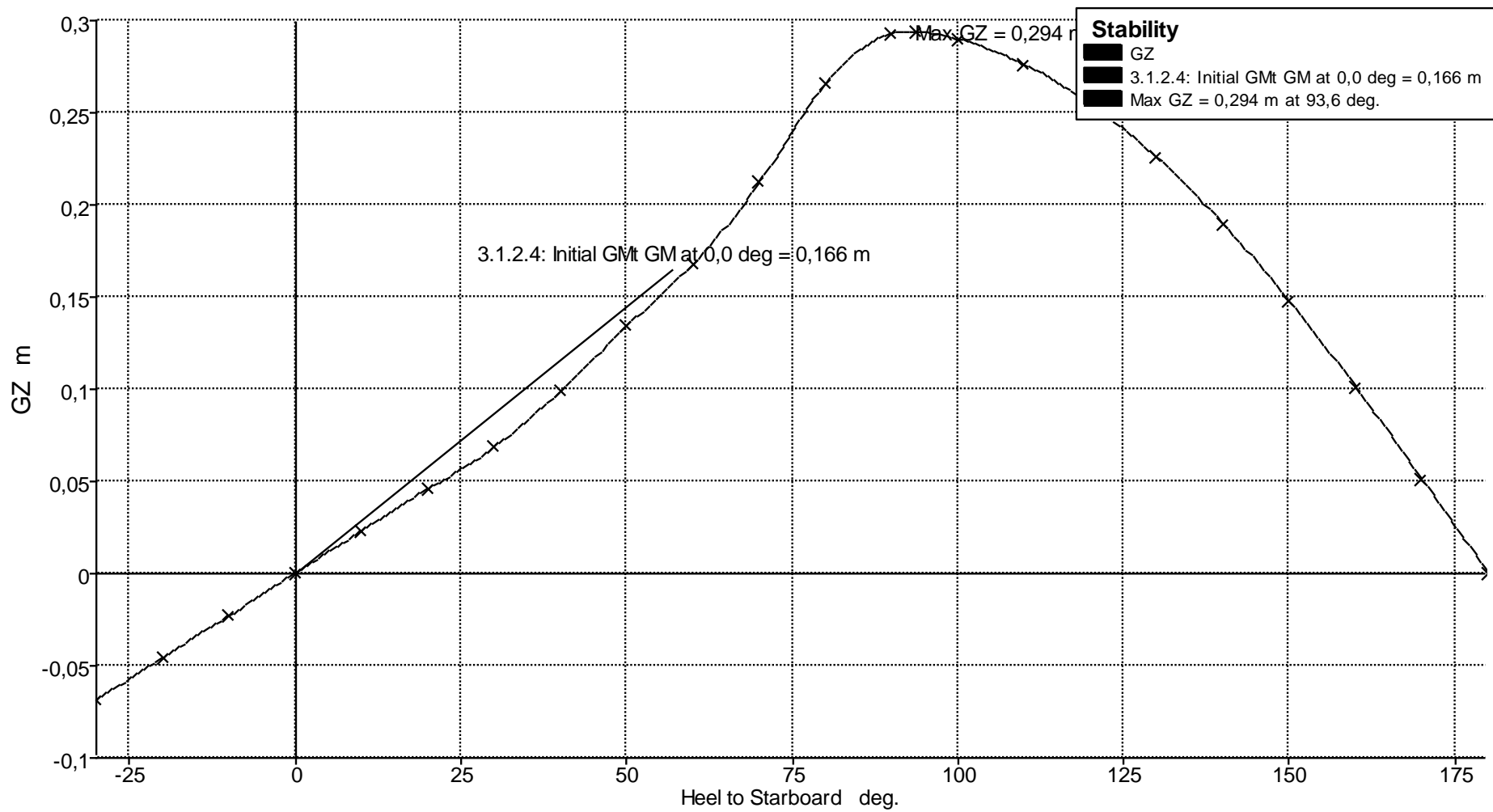
Damage Case - Intact

Free to Trim

Specific gravity = 1,025; (Density = 1,025 tonne/m³)

Fluid analysis method: Use corrected VCG

Item Name	Quantity	Unit Mass tonne	Total Mass tonne	Unit Volume m ³	Total Volume m ³	Long. Arm m	Trans. Arm m	Vert. Arm m	Total FSM tonne.m	FSM Type
Lightship	1	92,593	92,593			11,332	0,000	1,370	0,000	User Specified
MBT AFT	55%	9,847	5,416	9,607	5,284	3,445	0,000	1,027	3,074	Maximum
MBT FWD	55%	11,814	6,497	11,525	6,339	19,123	0,000	0,995	3,945	Maximum
T Bahan Bakar	100%	1,917	1,917	2,030	2,030	8,500	0,000	0,516	0,000	Maximum
T Peng PS1	50%	0,582	0,291	0,567	0,284	7,750	-0,777	0,460	0,096	Maximum
T Peng SB1	50%	0,582	0,291	0,567	0,284	7,750	0,777	0,460	0,096	Maximum
T ATW PS	50%	0,567	0,284	0,567	0,284	9,250	-0,777	0,460	0,094	Maximum
T ATW SB (A)	50%	0,567	0,284	0,567	0,284	9,250	0,777	0,460	0,094	Maximum
T. Lube Oil	75%	0,659	0,494	0,717	0,537	10,250	0,000	0,481	0,854	Maximum
Sewage	100%	0,654	0,654	0,717	0,717	10,750	0,000	0,588	0,000	Maximum
T Peng PS2	50%	0,351	0,176	0,343	0,171	16,250	-0,943	0,541	0,037	Maximum
T Peng SB2	50%	0,351	0,176	0,343	0,171	16,250	0,943	0,541	0,037	Maximum
MBT AFT 2	55%	0,196	0,108	0,191	0,105	17,500	0,000	0,103	0,372	Maximum
Total Loadcase			109,179	27,741	16,489	11,338	0,000	1,293	8,698	
FS correction								0,080		
VCG fluid								1,373		



Heel to Starboard deg	-30,0	-20,0	-10,0	0,0	10,0	20,0	30,0	40,0	50,0	60,0	70,0	80,0	90,0
GZ m	-0,068	-0,046	-0,023	0,000	0,023	0,046	0,068	0,099	0,134	0,168	0,212	0,266	0,293
Area under GZ curve from zero heel m.deg	1,0320	0,4629	0,1181	0,0000	0,1179	0,4636	1,0295	1,8607	3,0256	4,5323	6,4187	8,8136	11,6332
Displacement t	109,2	109,2	109,2	109,2	109,2	109,2	109,2	109,2	109,2	109,2	109,2	109,2	109,2
Draft at FP m	2,681	2,601	2,551	2,535	2,551	2,601	2,682	2,784	2,963	3,295	3,928	5,808	n/a
Draft at AP m	2,394	2,322	2,285	2,273	2,285	2,322	2,393	2,508	2,677	2,975	3,603	5,518	n/a
WL Length m	19,178	19,171	19,190	19,209	19,190	19,172	19,178	19,235	19,302	19,371	19,471	19,584	19,646
Beam max extents on WL m	2,584	2,491	2,491	3,817	2,491	2,491	2,584	2,866	3,007	3,577	4,332	4,369	3,057
Wetted Area m^2	134,317	134,600	134,544	134,465	134,533	134,593	134,313	133,187	132,845	133,406	133,809	134,532	137,824
Waterpl. Area m^2	43,145	40,507	40,496	42,073	40,503	40,512	43,147	46,978	47,883	49,499	52,992	53,549	50,849
Prismatic coeff. (Cp)	0,879	0,880	0,880	0,879	0,880	0,880	0,879	0,876	0,874	0,873	0,828	0,775	0,751
Block coeff. (Cb)	0,869	0,899	0,898	0,585	0,898	0,899	0,869	0,792	0,764	0,650	0,547	0,508	0,681
LCB from zero pt. (+ve fwd) m	11,339	11,338	11,339	11,339	11,339	11,338	11,339	11,339	11,339	11,339	11,339	11,339	11,339
LCF from zero pt. (+ve fwd) m	11,169	11,016	11,016	11,252	11,016	11,016	11,169	11,210	11,190	11,297	11,411	11,437	11,359
Max deck inclination deg	30,0064	20,0112	10,0230	0,6823	10,0230	20,0112	30,0064	40,0032	50,0017	60,0009	70,0003	80,0000	90,0000
Trim angle (+ve by stern) deg	-0,7495	-0,7260	-0,6928	-0,6823	-0,6928	-0,7260	-0,7512	-0,7201	-0,7448	-0,8330	-0,8447	-0,7557	-90,0000

100,0	110,0	120,0	130,0	140,0	150,0	160,0	170,0	180,0
0,290	0,276	0,255	0,226	0,190	0,148	0,101	0,051	0,000
14,5623	17,4012	20,0648	22,4752	24,5598	26,2533	27,5033	28,2695	28,5276
109,2	109,2	109,2	109,2	109,2	109,2	109,2	109,2	109,2
2,504	0,531	-0,118	-0,431	-0,604	-0,709	-0,768	-0,802	-0,813
2,399	0,477	-0,144	-0,440	-0,612	-0,716	-0,781	-0,814	-0,825
19,640	19,629	19,624	19,624	19,625	19,630	19,635	19,648	19,658
2,670	2,681	2,915	3,234	2,668	2,669	2,670	2,670	2,670
141,824	141,840	141,800	141,955	142,368	142,945	143,364	143,347	143,326
46,537	46,571	46,934	46,956	46,900	46,892	46,585	46,556	46,533
0,751	0,752	0,752	0,752	0,752	0,752	0,752	0,751	0,751
0,739	0,715	0,654	0,558	0,608	0,565	0,539	0,528	0,531
11,340	11,339	11,338	11,338	11,339	11,336	11,339	11,339	11,339
11,272	11,273	11,236	11,238	11,227	11,228	11,275	11,276	11,268
100,0000	110,0000	120,0000	130,0000	140,0000	150,0000	160,0000	169,9999	179,9676
-0,2727	-0,1384	-0,0667	-0,0256	-0,0214	-0,0190	-0,0344	-0,0329	-0,0324

Key point	Type	Immersion angle deg	Emergence angle deg
Margin Line (immersion pos = 20,978 m)		0	n/a
Deck Edge (immersion pos = 20,978 m)		0	n/a

Code	Criteria	Value	Units	Actual	Status	Margin %
A.749(18) Ch3 - Design criteria applicable to all ships	3.1.2.2: Max GZ at 30 or greater	0,200	m	0,293	Pass	+46,50
A.749(18) Ch3 - Design criteria applicable to all ships	3.1.2.4: Initial GMT	0,150	m	0,166	Pass	+10,67

DAFTAR PUSTAKA

- ABS, A. B. (2015). UNDERWATER VEHICLES, SYSTEMS AND HYPERBARIC FACILITIES. Dalam A. B. Shipping, *RULES FOR BUILDING AND CLASSING* (hal. 7-11). New York: American Bureau of Shipping.
- Ahadyanti, G. M. (2014). *Modifikasi Bentuk Lambung Pada Shallow Draft Bulk Carrier Untuk Menurunkan Konsumsi Bahan Bakar*. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Allmendinger, E. (1990). *Submersible Vehicle Systems Design* (1 ed.). New Jersey: SNAME.
- Anderson, J. (1995). *Computational Fluid Dynamics: The Basics With Applications. Science/Engineering/Math*. New York: McGraw-Hill Science.
- Burcher, R., & Rydill, L. (1994). *Concepts in Submarine Design*. London: Cambridge University Press.
- Couser, P. (2002). *Use of Computers in The Design of High-Speed Craft. High-Speed Craft Technology and Operation*. London: RINA.
- Ibaddurahman. (2015). *Concept Design of Conventional Attack Submarine*. Jakarta: Universitas Indonesia.
- Joubert, P. P. (2004). *Some Aspects of Submarine Design Part 1. Hydrodynamics*. Victoria: DSTO Platforms Sciences Laboratory.
- Karnain, H. K. (2015). *Desain Semi-Submarine untuk Kapal Wisata Pulau Pisang, Lampung*. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Kongsberg. (2013, Oktober 2). *MSI-90U Mk2 Combat Management System*. Diambil kembali dari Kongsberg Defence Systems: www.kongsberg.com
- Kormiiltsin, Y. N., & Khalizef, O. A. (2001). *Theory of Submarine Design*. Saint-Petersburg: Saint-Petersburg State Maritime Technical University.
- Lewis, E. V. (1988). *Principles of Naval Architechture Volume-II*. New Jersey: The Society of Naval Architects and Marine Engineers.

- Lloyd, G. (2008). Sub-Surface Shio. Dalam G. Lloyd, *Rules for Classification and Construction - III Naval Ship Technology* (hal. 2-1 - 2-7). Hamburg: Germanischer Lloyd Aktiengesellschaft.
- Mahardika, N. (2007). *Simulasi Nnumerik Aliran 3D untuk Kondisi Quasi Steady dan Unsteady pada Turbin Uap Aksial*. Bandung: Institut Teknologi Bandung.
- Mulyana, W., & Salahudin, M. (2010, Desember 4). *Morfologi Dasar Laut Indonesia*. Diambil kembali dari P3GL : Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi Kelautan: <http://www.mgi.esdm.go.id/>
- Nautik, E. (2013, April 4). *OpenSonarSuite KaleidoScope*. Diambil kembali dari L-3 Communications ELAC Nautik GmbH: www.elac-nautik.de
- Pamuji, R. I. (2014). *ANALISA STABILITAS DAN EQUILIBRIUM KAPAL SELAM MIDGET 150 UNTUK PERAIRAN INDONESIA*. Semarang: Universtas Diponegoro.
- Pappalardo, J. (2010, 4 24). *Is the U.S. Prepared to Face Midget Subs?* Diambil kembali dari Popular Mechanics: <http://www.popularmechanics.com/military/a5825/midget-sub-attacks/>
- Prisdianto, A. (2012). *Perancangan ROV dengan Hydrodynamic Performance yang Baik untuk Misi Monitoring Bawah Laut*. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Rawson, K., & Tupper, E. C. (2001). *Basic Ship Theory - Volume 2* (5 ed.). oxford: Butterworth-Heinemann.
- Rawson, K.J. and Tupper, E.C. (2001). *Basic Ship Theory* (5th ed., Vol. 1). Oxford: Butterworth-Heinemann.
- wikipedia. (2014, Desember 16). *Pantai*. Dipetik Desember 20, 2014, dari Wikipedia , ensiklopedia bebas: <http://id.wikipedia.org/wiki/Pantai>
- wikipedia. (2015). *Kapal selam*. Dipetik Agustus 11, 2015, dari https://id.wikipedia.org/wiki/Kapal_selam
- wikipedia. (2015). *Midget submarine*. Dipetik Agustus 21, 2015, dari https://en.wikipedia.org/wiki/Midget_submarine
- Zeiss, C. (2006, Februari 14). *Periscope System SERO 400*. Diambil kembali dari Carl Zeiss Optronics GmbH: www.zeiss.com/optronics

BIODATA PENULIS



Penulis bernama Bagus Gelis Pratama Putra dilahirkan di Surabaya pada tanggal 09 April 1993. Pria yang biasa dipanggil Bagus atau juga Bagel ini merupakan putra pertama dari dua bersaudara pasangan I Putu Artha Aryana dan Inggar Riningtijas. Penulis telah menempuh pendidikan formal di SDN Bonipoi 2 Kupang, SMP Kemala Bhayangkari 7 Porong, SMAN 3 Sidoarjo, dan melanjutkan pendidikan sarjana di Jurusan Teknik Perkapalan Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya pada tahun 2011. Prestasi yang pernah diraih penulis selama masa perkuliahan yaitu pernah menjuarai Kontes Kapal Cepat Tak Berawak (ROBOBOAT) pada tahun 2012 oleh DIKTI yang bertempat di Universitas Diponegoro pada Kategori 2 dengan mendapat Juara I dan Best Design bersama tim Acalendra yang beranggotakan (Bagus, Alfi, & Arya) yang menghasilkan kapal 'Barunastra'. Pada tahun berikutnya (2013) mempertahankan gelar yang sama yang berlokasi di ITS dengan kapal 'Barunastra Mark-III'. Selain itu, penulis juga aktif dalam kegiatan non akademik, yaitu aktif dalam kegiatan pelatihan managerial mahasiswa sebagai pemandu LKMM (Latihan Keterampilan Manajemen Mahasiswa). Penulis juga sempat menjabat sebagai Kepala Divisi Pelatihan pada Departemen PSDM (Pengembangan Sumber Daya Mahasiswa) di BEM Fakultas Teknologi Kelautan ITS dan sebagai Ka-BAKOR FTK (Ketua Badan Koordinasi LKMM). Selain itu penulis juga terlibat pada kepanitiaan Semarak Mahasiswa Perkapalan, yaitu SAMPAN 6 sebagai Sie Acara pada sub-kegiatan NASDARC (National Ship Design and Race Competition) dan pada SAMPAN 8 sebagai koordinator SC (*Steering Comitee*) pada NASDARC. Untuk mengembangkan ilmu pengetahuannya, penulis juga aktif tergabung dalam Laboratorium Perancangan Kapal. Penulis berharap kelak Indonesia menjadi negara yang diperhitungkan oleh dunia dengan Teknologi Maritimnya, terutama dalam bidang Kapal Selam.

Doing Effort, Don't Quit.

Contact Person : bagus.gelispp@gmail.com